

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CAROLINE RIBEIRO DINIZ**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CUSTOS DE UMA EDIFICAÇÃO  
CONSTRUÍDA EM ALVENARIA ESTRUTURAL E REDIMENSIONADA EM  
CONCRETO ARMADO**

**UBERLÂNDIA**

**2017**

**CAROLINE RIBEIRO DINIZ**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CUSTOS DE UMA EDIFICAÇÃO  
CONSTRUÍDA EM ALVENARIA ESTRUTURAL E REDIMENSIONADA EM  
CONCRETO ARMADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Doutor Jesiel Cunha

**UBERLÂNDIA**

**2017**

Dedico esse trabalho aos meus pais,  
Luciene e Sérgio.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus e a meus pais, Luciene e Sérgio, por me proporcionarem tudo que tenho nessa vida e por me guiarem a ser e dar sempre o meu melhor.

Agradeço também aos meus irmãos, Carlos e Caio, meus avós e ao restante da minha família por todo o apoio e companheirismo.

Aos professores desta faculdade, em especial à Maria Cristina e ao orientador deste trabalho, Jesiel, pelo ensino, compromisso e dedicação não só na minha formação profissional, mas na de todos os seus alunos.

Aos amigos para toda a vida que fiz durante esse período na universidade e por ter feito parte de uma turma maravilhosa e inesquecível, a 84ª turma de Engenharia Civil da UFU.

Ao fato de ter sido aluna da Universidade Federal de Uberlândia, a qual me proporciona cada vez mais oportunidades, e por ter sido essencial também na minha formação pessoal.

## RESUMO

O presente trabalho tem o intuito de comparar economicamente dois sistemas construtivos, alvenaria estrutural com blocos de concreto e concreto armado convencional com blocos cerâmicos de vedação, a partir de uma edificação modelo. Fez-se o redimensionamento desse edifício, já calculado em alvenaria estrutural, para o sistema de concreto armado. Devido ao surgimento de novas tecnologias no ramo da construção civil, vê-se a necessidade de estudos preliminares de projeto de cada método, considerando o projeto arquitetônico, cargas atuantes na estrutura e altura da edificação, para que então se adote o sistema técnica e economicamente mais adequado para cada tipo de obra. Inicialmente é dada breve revisão bibliográfica dos sistemas construtivos em estudo, apresentando seu histórico, definição, principais características e elementos componentes, além de descrever o programa computacional utilizado para o redimensionamento da edificação para concreto armado. Posteriormente, apresenta-se a edificação exemplo e como foi realizado o novo cálculo estrutural em concreto armado. Depois, fez-se o levantamento quantitativo dos materiais e da mão de obra utilizados na estrutura e vedação de ambos os sistemas e, então, feito o orçamento dos mesmos. A partir dos resultados obtidos, foi realizada comparação econômica entre os sistemas, com o objetivo de apresentar uma estimativa de preços que seja referência na escolha do melhor sistema construtivo a ser adotado.

Palavras-chave: Sistemas construtivos. Concreto armado. Alvenaria estrutural. Quantitativo. Custos. Orçamento.

## **ABSTRACT**

The present work intends to compare economically two construction systems, structural masonry with concrete blocks and conventional reinforced concrete with ceramic blocks for sealing, from a model building. The re-design of this building, already calculated in structural masonry, was done for the reinforced concrete system. Due to the emergence of new technologies in the field of construction, it is necessary to do preliminary design studies of each method, considering the architectural project, loads acting on the structure and height of the building, so that the system more technically and economically suitable for each type of construction can be used. Initially, a brief bibliographic review of the constructive systems under study is presented, showing its history, definition, main characteristics and component elements, as well as describing the computational program used for the re-design of the building for reinforced concrete. Subsequently, the example building is displayed and how the new structural calculation in reinforced concrete was performed. Afterwards, a quantitative survey of the materials and labor used in the structure and sealing of both systems was carried out, and then the budget was drawn up. From the results obtained, an economic comparison was made between the systems, with the objective of presenting an estimate of prices that can be a reference in the choice of the best constructive system to be adopted.

**Keywords:** Construction systems. Reinforced concrete. Structural masonry. Quantitative. Costs. Budget.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	9
2	OBJETIVO .....	10
3	JUSTIFICATIVA.....	10
4	METODOLOGIA .....	10
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
5.1	Sistema construtivo.....	11
5.2	Alvenaria estrutural.....	12
5.2.1	Breve histórico.....	12
5.2.2	Definição .....	15
5.2.3	Materiais componentes .....	16
5.2.3.1	Bloco ou unidade .....	16
5.2.3.2	Argamassa .....	18
5.2.3.3	Armadura .....	19
5.2.3.4	Graute.....	20
5.2.4	Modulação.....	20
5.3	Concreto armado convencional .....	22
5.3.1	Breve histórico.....	22
5.3.2	Definição .....	24
5.3.3	Materiais componentes .....	25
5.3.3.1	Concreto simples .....	25
5.3.3.2	Aço.....	26
5.3.4	Principais elementos estruturais .....	26
5.3.4.1	Laje .....	26
5.3.4.2	Viga.....	28
5.3.4.3	Pilar.....	28
5.4	Vantagens e desvantagens comparadas entre os sistemas construtivos abordados ...	29
5.5	O CYPECAD.....	30
6	ESTUDO DE CASO .....	32
6.1	Considerações principais.....	32
6.2	Apresentação da edificação exemplo .....	32
6.3	Redimensionamento em estrutura convencional de concreto armado .....	37
6.3.1	Lançamento dos dados da estrutura.....	37
6.3.2	Lançamento estrutural.....	40

6.3.3	Cálculo da obra.....	46
7	LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS QUANTITATIVOS E CUSTOS .....	47
7.1	Levantamento quantitativo de materiais e serviços .....	47
7.2	Levantamento de custos de materiais e serviços .....	50
7.3	Comparação econômica entre os sistemas construtivos estudados .....	56
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	60
	REFERÊNCIAS .....	61
	ANEXO A – Planta de formas do pavimento térreo da edificação em concreto armado .....	66
	ANEXO B – Planta de formas do 1º Pavimento Tipo da edificação em concreto armado .....	67
	ANEXO C – Planta de formas do 2º e 3º Pavimentos Tipo da edificação em concreto armado .....	68
	ANEXO D – Planta de formas do forro/barrilete da edificação em concreto armado .....	69
	ANEXO E – Planta de formas do reservatório elevado da edificação em concreto armado ...	70



## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil brasileira está em constante renovação técnica e à procura de métodos construtivos cada vez mais otimizados a fim de aumentar sua produtividade, reduzir custos e beneficiar o gerenciamento de obras.

Junges e Nunes (2008 apud COSTA, 2017), afirmam que a evolução do processo construtivo acontece a partir da qualidade dos projetos elaborados para a construção de uma edificação. Dentre eles, destaca-se o projeto estrutural que, sozinho, corresponde entre 15 e 25% de seu custo total. Dessa forma, faz-se necessário estudos prévios para escolha de um sistema construtivo adequado para determinada obra, pois qualquer redução de custo que houver nesta etapa já representa uma grande diminuição no valor de custo total da construção.

Conforme Albuquerque (1999), para a escolha de um sistema construtivo, o engenheiro precisa considerar diversos fatores, tais como a estética, a funcionalidade do projeto arquitetônico, uma concepção aproximada dos esforços que atuarão na estrutura, métodos construtivos e custos. Além disso, a escolha desse sistema é quase sempre influenciada por imposições arquitetônicas, rotinas de construção, infraestrutura construtiva da região etc. Porém, mesmo com essas condições, o engenheiro ainda deve procurar estruturar a obra da forma mais econômica possível.

Essa busca por redução de custos faz com que estudos comparativos entre sistemas construtivos sejam realizados, por exemplo, entre custos do método construtivo convencional em concreto armado com outros mais recentes e ainda pouco utilizados na construção civil do Brasil, tais como alvenaria estrutural e paredes de concreto.

### CYPECAD

Diante disso, neste trabalho, foi feita comparação entre custos dos sistemas construtivos de alvenaria estrutural com blocos de concreto e estrutura convencional em concreto armado com blocos cerâmicos de vedação para um edifício residencial multifamiliar localizado na cidade de Uberlândia/MG. Essa análise contribuirá com dados e parâmetros que possam ser referência na confecção de anteprojeto de outras edificações, principalmente as similares à estudada.

Para a realização do estudo, foi utilizado um projeto de uma edificação de pequeno porte já dimensionado em alvenaria estrutural, que foi recalculado para o sistema estrutural convencional em concreto armado via ferramenta computacional adequada, o CYPECAD. Feito isso, foi executado o levantamento quantitativo e orçamentário de materiais e recursos humanos necessários à construção da estrutura do edifício para cada sistema, mas não foram

considerados os elementos de fundação. Por fim, fez-se a comparação econômica entre os sistemas.

## **2 OBJETIVO**

Este trabalho tem o intuito de apresentar um estudo comparativo entre dois sistemas construtivos estruturais: concreto armado e alvenaria estrutural com blocos de concreto. O foco do mesmo é em relação aos custos da execução de cada método, em relação aos materiais e mão de obra utilizados, visando buscar a melhor solução construtiva para uma obra de porte e padrão semelhantes ao da edificação estudada.

## **3 JUSTIFICATIVA**

O sistema construtivo em alvenaria estrutural é considerado bastante tradicional, sendo utilizado pelo ser humano desde a antiguidade, onde o principal material era a rocha. Trata-se resumidamente de um processo construtivo em que as paredes têm função estrutural, transmitindo cargas até a fundação. Porém, ele não possui alta resistência à força cortante ou à grandes esforços de tração, sendo evitada sua utilização em locais instáveis, sujeitos a abalos sísmicos. Dessa forma, ele tem grande potencial de desenvolvimento e crescimento no Brasil, mas que na conjuntura atual ainda consiste em um método inovador, pouco utilizado no país.

Com isso, há a necessidade de aumentar a utilização desse processo, visto que ele pode permitir maior economia e rapidez na execução das obras. Para tanto, é preciso estudos mais aprofundados que confirmem sua eficácia técnica e econômica, para que se convença os arquitetos e engenheiros de suas vantagens e melhor custo-benefício perante a construção tradicional em concreto armado.

Assim, o estudo comparativo entre dois sistemas construtivos diferentes, um em alvenaria estrutural e outro em concreto armado, feitos a partir de um mesmo projeto arquitetônico, torna-se útil. Será majoritariamente a diferença entre custos de execução de cada sistema que determinará ao construtor o melhor dos métodos a ser utilizado em determinada obra.

## **4 METODOLOGIA**

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho é dada a partir dos seguintes itens:

- a) Apresentar breve revisão bibliográfica dos dois sistemas construtivos em estudo e do programa computacional utilizado no decorrer do trabalho;
- b) Analisar a situação atual dos sistemas de alvenaria estrutural e concreto armado convencional no Brasil;
- c) Apresentar a edificação exemplo;
- d) Redimensionar o projeto de alvenaria estrutural para estrutura de concreto armado;
- e) Quantificar o consumo de mão de obra e materiais utilizados em cada sistema e realizar orçamento dos mesmos por meio de planilhas de preços de insumos, serviços e catálogo de composições analíticas fornecidas pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) e das Tabelas para Composições de Preços para Orçamentos (TCPO);
- f) Comparar os orçamentos de alvenaria estrutural e concreto armado;
- g) Indicar a economia de um sistema frente o outro.

## **5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **5.1 Sistema construtivo**

De acordo com Camacho (2006), o sistema construtivo consiste em “um processo construtivo de elevado nível de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrado pelo processo.”

Dessa forma, conceitua-se sistema construtivo como processo que envolve diversas unidades, todos em uma mesma linha de raciocínio com intuito de um resultado satisfatório. É um elemento escolhido ainda no processo de estudo de uma obra, de acordo com a utilização que a mesma terá finalidade (PASTRO, 2007).

Dentre os sistemas construtivos que são abordados nesse trabalho, existem o convencional, em concreto armado, e a alvenaria estrutural. O primeiro é bastante tradicional, muito utilizado em edificações residenciais unifamiliares, e consiste basicamente em utilizar elementos estruturais (vigas, lajes, pilares, etc.) em concreto armado e vedar com blocos cerâmicos ou de concreto sem função estrutural. Já o segundo é muito utilizado em edificações de múltiplos pavimentos e com repetições de *layout*. Ao mesmo tempo em que possui função de vedação, consiste em elemento estrutural composto por blocos de concreto dispostos um sobre os outros e unidos com argamassa. Formam, assim, um conjunto coeso e

rígido, substituindo pilares e vigas, e permitem maior estabilidade na estrutura quando na situação de obra com vários pavimentos tipo (PASTRO, 2007).

Neste trabalho serão aprofundadas as definições desses dois sistemas construtivos: alvenaria estrutural e concreto armado.

## **5.2 Alvenaria estrutural**

### **5.2.1 Breve histórico**

O sistema construtivo em alvenaria estrutural é um dos mais antigos utilizados na construção civil, datado desde as antigas civilizações na realização de diversos tipos de edificações, como palácios, catedrais e pirâmides. Eram utilizados blocos irregulares, feitos de pedra e/ou outros materiais, e técnicas que eram passadas de geração a geração, evoluindo por meio de experiências anteriores (BECKENKAMP, 2013).

Grandes monumentos históricos atuais foram construídos por meio da técnica de alvenaria estrutural, tais como as Pirâmides de Gizé (2600 a.C.), o Farol de Alexandria (280 a.C.) e o Coliseu (70 d.C.), mostrados nas Figuras 1, 2 e 3, respectivamente. Entre as edificações mais recentes, pode-se citar o Edifício Monadnock (1889-1891) (Figura 4), localizado na cidade de Chicago nos Estados Unidos. Esse edifício foi considerado ousado na época por possuir 16 pavimentos e um total de 65 m de altura, além de ter sido dimensionado apenas de forma empírica, que resultaram em paredes de base de 1,80 m de espessura (BECKENKAMP, 2013).

Figura 1 – Pirâmides de Gizé



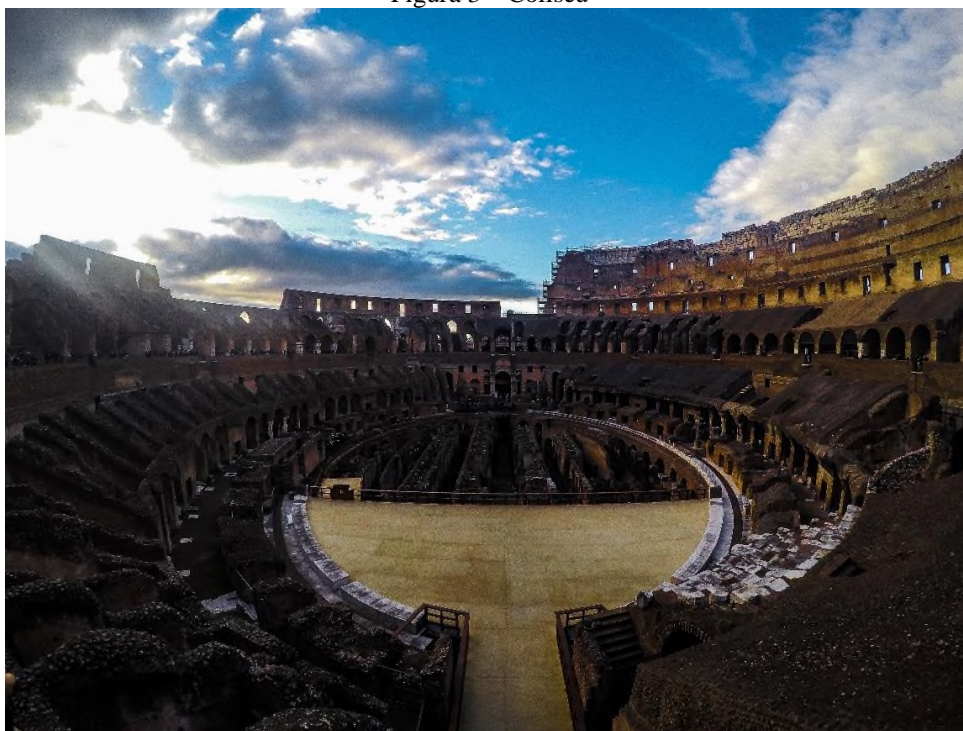
Fonte: Ancient History Encyclopedia (2012)

Figura 2 – Farol de Alexandria



Fonte: Ancient History Encyclopedia (2012)

Figura 3 – Coliseu



Fonte: Autora

Figura 4 – Edifício Monadnock



Fonte: Staub (2005)

Porém, também conforme Beckenkamp (2013), o surgimento de estruturas de aço e de concreto armado no século XX, fez com que a alvenaria estrutural perdesse espaço na construção civil, já que esses “novos” sistemas detinham de maiores vantagens técnicas e econômicas e permitiam edificações com maiores vãos.

Apenas nas décadas de 1950 e 1960 que a alvenaria estrutural foi considerada de fato um sistema construtivo racional e preciso, já que foram intensificadas pesquisas no assunto e houveram maiores avanços em produtos e técnicas, bem como criação de normas condizentes (BECKENKAMP, 2013).

No Brasil, a alvenaria estrutural é utilizada desde a época colonial. Mas há controvérsias de quando realmente ela efetivamente se tornou um sistema construtivo mais bem elaborado no país. Há dados que indicam que a primeira edificação utilizando a técnica foi feita em São Paulo em 1966, com 4 pavimentos utilizando blocos de concreto. Mas, segundo Parkesian e Soares (2011 apud BECKENKAMP, 2013), a alvenaria estrutural apenas destacou-se na década de 1980 com a criação de equipamentos e materiais aceitáveis para a execução do sistema.



Atualmente, nos Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha etc., a alvenaria estrutural já alcança níveis de cálculo, execução e controle semelhantes aos utilizados na estrutura convencional de concreto armado, o que indica a maior economia e racionalização desse sistema, além de sua versatilidade e facilidade de produção (BAUTH, 2017).

Já no Brasil, a técnica está em ascensão, mais ainda pouco difundida, sendo amplamente utilizada em edificações residenciais de baixo e médio padrão. Há hoje, por exemplo, um projeto na cidade de São Paulo, nomeado Cingapura, com o objetivo de verticalizar as favelas, e que tem aproximadamente 14 mil unidades em edificações de 5 ou mais pavimentos, construídos em alvenaria estrutural (BAUTH, 2017).

### **5.2.2 Definição**

Denomina-se alvenaria como um conjunto de peças ligadas e justapostas com argamassa de assentamento adequada, que formam elemento vertical rígido e coeso. Tem função de vedação de ambientes e resistência às cargas advindas da gravidade, além de garantir segurança, resistência a impactos e ação do fogo, isolamento acústico e manutenção do conforto térmico de uma edificação (NESE; TAUIL, 2010).

A alvenaria estrutural, então, consiste em um sistema construtivo que utiliza blocos com função estrutural nas edificações. Além dos benefícios supracitados, tem vantagens quanto à racionalização da construção, já que não necessita de elementos estruturais usados no sistema convencional de construção em concreto armado, as vigas e pilares. Além disso, evita a utilização de medidas de paredes fora dos padrões dos blocos e executa instalações elétricas junto ao assentamento deles para evitar futuros cortes. As paredes, nesse sistema, são chamadas de portantes, ou seja, distribuem as cargas uniformemente para a fundação (BAUTH, 2017).

Vê-se que a alvenaria estrutural é uma evolução da aplicação convencional de tijolos e blocos cerâmicos e de concreto sem função estrutural, visto que pilares, vigas e vergas encontram-se embutidos nas cavidades dos blocos. Esse sistema promove uma diminuição de etapas, mão de obra, custos (concreto, aço e madeira de formas, por exemplo) e tempo de construção. Porém, ele necessita de profissionais qualificados para sua execução, rigorosa integração entre os projetos da obra e foco no processo de produção (FÓRUM DA CONSTRUÇÃO, 2017).

Segundo Ramalho e Corrêa (2003 apud BECKENKAMP, 2013), o principal conceito estrutural relacionado à alvenaria estrutural consiste na transmissão de ações por meio de tensões de compressão. Esforços de tração são admitidos, mas devem estar restritos a locais

específicos da estrutura e, preferencialmente, apresentando valores baixos que garantam a viabilidade econômica do sistema na construção.

A alvenaria estrutural pode ser classificada em três tipos de acordo com seu processo construtivo que são, segundo a ABNT NBR 15961-1:2011 e Nese e Tauil (2010):

- a) Alvenaria não armada: alvenaria que desconsidera o uso de armadura para fins de resistência contra esforços solicitantes. Utiliza reforços de aço (barras, fios e telas) apenas por razões construtivas com a finalidade de evitar patologias futuras na estrutura, como trincas e fissuras;
- b) Alvenaria armada ou parcialmente armada: alvenaria que utiliza armaduras passivas de fios, barras e telas de aço dentro dos vazios dos blocos, grauteados logo após, além de preenchimento de todas as juntas verticais, para resistir aos esforços solicitantes;
- c) Alvenaria protendida: alvenaria que utiliza armaduras ativas (pré-tensionadas), submetendo-a a esforços de compressão. Tipo de alvenaria pouco usado por questões de mão de obra, materiais e custo.

### **5.2.3 Materiais componentes**

Neste item, serão conceituados simplificadaamente os principais componentes da alvenaria estrutural: o bloco (ou unidade), a argamassa, a armadura e o graute.

#### **5.2.3.1 Bloco ou unidade**

As unidades consistem no material básico de uma obra em alvenaria estrutural e determinam a maioria das características da parede: resistência à compressão, estabilidade e precisão dimensional, resistência ao fogo e à penetração da chuva, estética, isolamento térmico e acústico e determinação do procedimento de modulação.

As unidades mais utilizadas no Brasil para edificações em alvenaria estrutural, contudo, em ordem decrescente de utilização, são unidades de concreto, unidades em cerâmica e unidades sílico-calcárias, representadas respectivamente nas Figuras 5, 6 e 7 (CAMACHO, 2006 apud BECKENKAMP, 2013).



Figura 5 – Unidades de concreto



Fonte: Casalit (2017)

Figura 6 – Unidades em cerâmica



Fonte: AECweb (2017)

Figura 7 – Unidades sílico-calcárias



Fonte: UFRGS (2011)

Para Olivier (2016), os blocos também podem ser classificados quanto a sua forma, denominados maciços ou vazados. Conforme a ABNT NBR 6136:2016, um bloco é considerado vazado quando sua área líquida é igual ou menor que 75% de sua área bruta. Assim, bloco maciço é aquele que não possui mais de 25% de área líquida.

Por fim, todos os tipos de unidade, vazadas ou maciças, têm função de vedação e podem ter ou não função estrutural, o que torna importante indicar a resistência à compressão

necessária. Os requisitos dessas resistências características, absorção e retração são dadas, para blocos de concreto simples, os quais foram utilizados nesse trabalho, pela ABNT NBR 6136:2016, conforme Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração

Itens			Especificações técnicas		
Classe do bloco			A	B	C <sup>1</sup>
Resistência característica à compressão f <sub>bk</sub> [MPa]			f <sub>bk</sub> ≥ 8,0	4,0 ≤ f <sub>bk</sub> < 8,0	f <sub>bk</sub> ≥ 3,0
Absorção de água [%]	Agregado normal	Individual	≤ 9,0	≤ 10,0	≤ 11,0
		Média	≤ 8,0	≤ 9,0	≤ 10,0
	Agregado leve	Individual	≤ 16,0	≤ 16,0	≤ 16,0
		Média	≤ 13,0	≤ 13,0	≤ 13,0
Retração [%]			≤ 0,065	≤ 0,065	≤ 0,065
<sup>1</sup> Bloco com ou sem função estrutural. Sua aplicação como bloco estrutural tem limitações, conforme estabelecido na ABNT NBR 6136:2016.					

<sup>1</sup> Bloco com ou sem função estrutural. Sua aplicação como bloco estrutural tem limitações, conforme estabelecido na ABNT NBR 6136:2016.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6136:2016

### 5.2.3.2 Argamassa

Conforme Selecta Blocos (2017), a argamassa, na alvenaria estrutural, possui a função de ligação entre as unidades, uniformizando os apoios entre elas. Esse elemento, segundo Beckenkamp (2013), é formado geralmente por cimento, cal, areia, água e às vezes por aditivos que melhorem uma ou mais propriedades, tais como plasticidade e retenção de água de hidratação à mistura.

Para a utilização da argamassa, deve-se, conforme Corrêa e Ramalho (2013 apud OLIVIER, 2016), garantir boas características de resistência, plasticidade, trabalhabilidade, aderência e durabilidade, para que haja seu correto funcionamento na estrutura. A resistência à compressão da argamassa, conforme a ABNT NBR 15812-1:2010, deve ser no mínimo 1,5 MPa e limitada a um máximo de 70% da resistência característica à compressão do bloco utilizado em relação a área líquida.

Conforme Parkesian e Soares (2011 apud BECKENKAMP, 2013), as principais funções da argamassa no assentamento de blocos são uni-los, distribuindo as cargas por toda sua área, além de compensar imperfeições e variações dimensionais dos blocos utilizados. Ela também permite a absorção de deformações naturais em que a parede construída está submetida, causadas por variações térmicas, por exemplo. A Figura 8 apresenta o assentamento de argamassa durante a construção de uma parede em alvenaria estrutural.

Figura 8 – Lançamento de argamassa na construção de uma parede em alvenaria estrutural



Fonte: Sua Obra (2017)

### 5.2.3.3 Armadura

Armaduras utilizadas em estruturas de alvenaria estrutural têm a mesma função que barras empregadas no sistema de concreto armado convencional. Faz-se necessária para resistir esforços de tração e compressão, combater a retração e garantir travamento. Além disso, são usadas em juntas das argamassas de assentamento. A Figura 9 representa barra de aço vertical e grampo posicionados em uma parede de alvenaria em construção (OLIVEIRA, 1992 apud DELLATORRE, 2014).

Figura 9 – Barra de aço vertical e grampo posicionados em parede de alvenaria estrutural em construção



Fonte: UFRGS (2017)

Porém, como se trata do sistema de alvenaria estrutural, essas armaduras devem trabalhar de forma monolítica, o que obriga que sejam revestidas por grautes. As barras de aço, então, devem ser posicionadas de forma que não se desloquem durante o lançamento do graute, mantendo as distâncias de projeto entre as barras e faces internas dos blocos. As armaduras também devem atender as regulamentações da ABNT NBR 7480:2007 (DELLATORRE, 2014).

#### 5.2.3.4 Graute

O graute consiste em um micro concreto, ou seja, um concreto com agregado fino e alta plasticidade. Ele é utilizado para preenchimento de vazios e cavidades dos blocos em pontos que serão fixadas armaduras e amarrações das paredes por grampos para aumento da resistência da alvenaria naquele local, além de preenchimento de canaletas. Esse elemento é composto de cimento, areia, cal e pedrisco, possui alta fluidez (*slump* entre 20 e 28 cm) e, logo, alta relação água/cimento. A utilização da cal nesse composto que garante a fluidez e plasticidade adequadas, bem como diminui sua retração (SELECTA BLOCOS, 2017).

A ABNT NBR 15812-1:2010 regulamenta que a avaliação da influência do graute na compressão deve ser realizada por meio de ensaios de compressão de prismas (corpos de prova da alvenaria). É sugerido que se adote eficiência de 60% e traço com resistência igual à do bloco na área líquida. O graute, por fim, deve apresentar resistência característica à compressão de 15 MPa, como dita a ABNT NBR 15961-1:2011. A Figura 10 mostra o lançamento de graute onde existem armaduras na parede em construção.

Figura 10 – Lançamento de graute em parede de alvenaria estrutural



Fonte: Comunidade da Construção (2017)

#### 5.2.4 Modulação

A modulação da alvenaria estrutural consiste no alinhamento das dimensões em planta e do pé direito da edificação em função das medidas dos blocos. Ela é feita com o intuito de evitar cortes e/ou ajustes durante a construção das paredes. Em situações onde as dimensões no projeto arquitetônico não serem modulares, utiliza-se o menor módulo, a fim de facilitar os ajustes necessários (SELECTA BLOCOS, 2017).

A dimensão modular na alvenaria estrutural é a dimensão real do bloco somada à dimensão da junta de argamassa (1 cm). A multiplicação do módulo por um fator numérico inteiro determina as medidas de projeto a serem utilizadas. A Tabela 2 a seguir apresenta as modulações mais utilizadas.

Tabela 2 – Modulações da alvenaria estrutural mais utilizadas

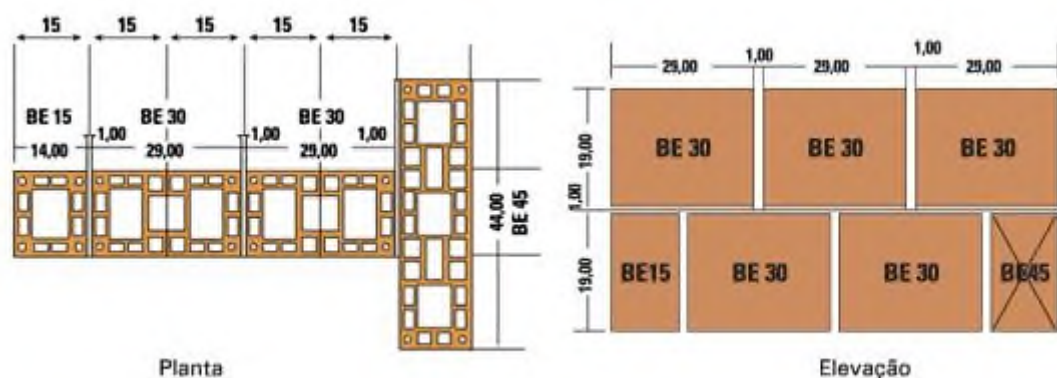
Dimensão modular [cm]	Dimensão nominal [cm]	Dimensão dos vãos (planta de arquitetura)
15x30	14x29	Todos múltiplos de 15 cm
20x40	19x39	Todos múltiplos de 20 cm, normalmente utilizados em galpões ou depósitos, reservatórios, arrimos
15x40	14x39	Em geral múltiplos de 20 cm, porém é necessário fazer a modulação, pois podem ocorrer vãos diferentes

Fonte: Adaptado de Beckenkamp (2013)

As duas primeiras fiadas de blocos (fiada ímpar e fiada par, respectivamente) de cada pavimento devem ser projetadas bloco a bloco. As instalações elétricas são dispostas dentro dos blocos, enquanto que as hidráulicas são comumente no interior de *shafts*.

O anteprojeto modulado permite iniciar a confecção desses projetos complementares da edificação (hidráulico, elétrico, etc.) e recomenda-se que todos eles sejam coordenados por um único responsável pelo projeto global, a fim de se evitar possíveis interferências. A Figura 11 representa um exemplo de modulação de blocos de alvenaria estrutural (PARIZOTTO FILHO; ROMAN, 2017).

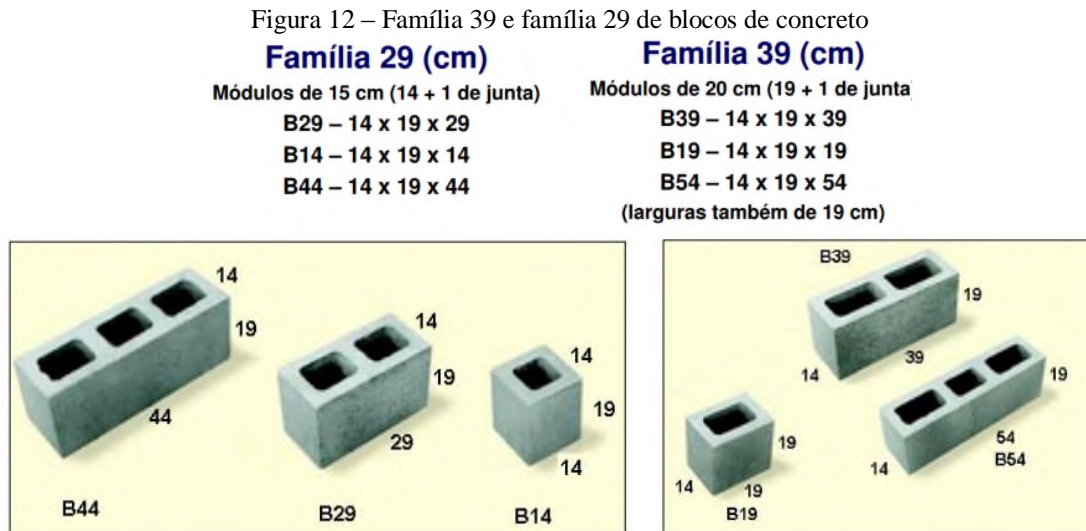
Figura 11 – Exemplo de modulação de blocos



Fonte: Selecta Blocos (2017)

Nota: “BE” significa bloco estrutural e “elevação” consiste na parede em corte.

No processo de modulação da alvenaria estrutural trabalha-se com famílias modulares de blocos, em que as principais são a família 39 (módulo de 20 cm) e a família 29 cm (módulo de 15 cm), conforme indicado na Figura 12.



Fonte: Freitas Júnior (2013)

### 5.3 Concreto armado convencional

#### 5.3.1 Breve histórico

O concreto armado é um elemento construtivo proveniente da combinação de concreto simples e aço. O mesmo surgiu na França em 1849, onde o engenheiro Joseph Louis Lambot efetuou as primeiras experiências práticas quanto à introdução de ferragens em argamassas de cimento. Lambot construiu um barco de argamassa armada com o intuito de garantir maior durabilidade do material em contato com a água. Inspirando-se no barco de Lambot, Joseph Mounier, comerciante de plantas ornamentais, paisagista e horticultor, começou a produzir vasos de plantas a partir da mesma técnica e, posteriormente, chegou a construir tubos, reservatórios e até mesmo pontes (BECKENKAMP, 2013).

Porém, só em 1877, foi Thaddeus Hyatt quem conseguiu entender a verdadeira função da armadura junto ao concreto, visualizando o comportamento entre eles como uma peça única, além de compreender a necessidade de armadura transversal bem ancorada, como é feito atualmente. Hyatt também foi quem percebeu a importância de uma boa aderência entre concreto e aço, bem como correto posicionamento das barras para obtenção de resistência adequada do material. Assim, foi ele, de fato, o precursor do concreto armado conhecido hoje (FONTANA, 2014).



No Brasil, a primeira obra em concreto armado é datada de 1892, através da construção de casas habitacionais comandadas pelo engenheiro civil Carlos Poma. Em 1901, foram construídas galerias de água com 47 e 74 m de comprimento. Em 1904, foram construídas casas e sobrados em Copacabana, no Rio de Janeiro. Já entre 1907 e 1908, foi construído o primeiro edifício em concreto armado na cidade de São Paulo, sendo um dos mais antigos do Brasil em “cimento armado”, com três pavimentos (BASTOS, 2006).

Conforme Bastos (2006), no século passado, o Brasil obteve vários recordes, muitos mundiais, como os seguintes:

- a) Marquise da tribuna do Jockey Clube do Rio de Janeiro, com balanço de 22,4 m (recorde mundial em 1926);
- b) Ponte Presidente Feliciano Sodré em Cabo Frio, em 1926, com arco de 67 m de vão (recorde na América do Sul);
- c) Edifício Martinelli em São Paulo em 1925, com 106,5 m de altura (30 pavimentos – recorde mundial);
- d) Elevador Lacerda em Salvador em 1930, com altura total de 73 m;
- e) Edifício “A Noite” no Rio de Janeiro em 1928, com 22 pavimentos, o mais alto do mundo em concreto armado, com 102,8 m de altura, projeto de Emílio Baumgart;
- f) Ponte Emílio Baumgart em Santa Catarina em 1930, com o maior vão do mundo em viga reta (68 m), onde foi utilizado pela primeira vez o processo de balanço sucessivo;
- g) Ponte da Amizade em Foz do Iguaçu em 1965, com extensão de 552 m e o maior arco de concreto armado do mundo, com 290 m de vão.

Outras obras que ficaram marcadas na história do concreto armado no Brasil foram:

- Estrada de Ferro Mayrink-Santos em 1937, sendo o maior conjunto de obras-de-arte em volume de concreto do mundo na época de sua conclusão (BECKENKAMP, 2013);
- Museu de Arte de São Paulo em 1969, com laje de 30 x 70 m livres, recorde mundial de vão, com projeto estrutural de Figueiredo Ferraz (BASTOS, 2006);
- Edifício Itália em São Paulo em 1962, o mais alto edifício em concreto armado do mundo durante alguns meses (BASTOS, 2006);
- Ponte Colombo Salles em Florianópolis em 1975, a maior viga contínua protendida do mundo, com 1227 m de comprimento, projeto estrutural de Figueiredo Ferraz (BASTOS, 2006);

- Usina hidrelétrica de Itaipu em 1982, a maior do mundo com 190 m de altura, projetada e construída por brasileiros e paraguaios, com coordenação americano-italiana e onde foram utilizados mais de dez milhões de metros cúbicos de concreto (BASTOS, 2006).

Segundo Beckenkamp (2013), o concreto armado é, atualmente, um sistema construtivo amplamente difundido no Brasil e no mundo e aplicado em inúmeros tipos de construção. Dentre essas obras, pode-se citar edifícios, galpões, pisos industriais, tubos, reservatórios, barragens, pavimentação, pontes, estruturas de contenção, etc.

### 5.3.2 Definição

O concreto armado consiste na estrutura convencional, sistema construtivo mais adotado no Brasil para edificações residenciais. O mesmo forma a combinação “esqueleto” de uma obra composta por pilares, vigas e lajes, basicamente. As paredes, nesse caso, têm apenas função de vedação e separação de cômodos. Todas as cargas incidentes e próprias da edificação são absorvidas pelos elementos pilar, viga e laje, são transmitidas então para a fundação e depois para o solo (FÓRUM DA CONSTRUÇÃO, 2017).

A característica mais importante do concreto armado está na sua constituição ao combinar um material que tem ótima resistência à compressão, o concreto, com outro que tem ótima resistência à tração, o aço. Assim, é possível dizer que o concreto, nos elementos em concreto armado, é responsável por resistir aos esforços de compressão, e o aço, aos de tração. Em peças sob compressão, o aço eleva a capacidade de resistência (PINHEIRO, 2010 apud BECKENKAMP, 2013).

Porém, para que a combinação de materiais tenha efetivo funcionamento, é imprescindível que haja boa aderência entre eles. Assim, segundo Araújo (2010 apud BECKENKAMP, 2013), o conjunto é capaz de comportar como um só, onde as deformações do aço são praticamente as mesmas que as do concreto que o engloba.

Também é necessário cuidado especial na proteção contra a corrosão que o concreto promove ao aço, a fim de garantir a durabilidade da peça, respeitando os cobrimentos mínimos que são recomendados na norma de concreto ABNT NBR 6118:2014 (CLÍMACO, 2008).

Clímaco (2008) também afirma que os coeficientes de dilatação do aço e do concreto são similares, o que permite minimizar os efeitos de variação de temperatura dos elementos estruturais.



### 5.3.3 Materiais componentes

A conceituação dos elementos componentes do concreto armado será superficial neste trabalho, logo, serão descritos simplificadaamente a seguir.

#### 5.3.3.1 Concreto simples

O concreto simples é basicamente constituído por cimento (aglomerante), agregado miúdo, agregado graúdo, água e ar. A maioria das vezes também contém aditivos químicos a fim de melhorar suas características, tais como plasticidade e trabalhabilidade. Além disso, esse elemento tem ótimo comportamento quando submetido a tensões de compressão, porém tem baixa resistência à tração, que é em torno de 10% de sua resistência à compressão (DALDEGAN, 2017).

Os materiais que compõem o concreto simples são:

- a) Cimento Portland: material aglutinante que, a partir de mistura com água, reage quimicamente e adquire características de trabalhabilidade, mas endurece em curto prazo de tempo, sendo incapaz de voltar à sua forma original caso entre em contato com água novamente;
- b) Agregado miúdo: consiste na areia, porém com diâmetro máximo de 4,8mm. É preciso ressaltar que, quando o concreto é feito na própria obra, a areia deve ser lavada, livre de materiais orgânicos, além de cuidado com sua umidade, pois pode interferir na resistência do concreto;
- c) Agregado graúdo: esse material é chamado de brita e, no Brasil, possui duas classificações, sendo a primeira de acordo com sua origem mineralógica (basalto, diabásio, granito, gnaiss, calcário e arenito) e a segunda referente ao seu diâmetro máximo, conforme Tabela 3 a seguir. Geralmente usa-se a Brita 1 no concreto fabricado no país;

Tabela 3 – Classificação do agregado graúdo conforme diâmetro máximo

<b>Brita</b>	<b>Diâmetro [mm]</b>
Brita 0	4,8 a 9,5
Brita 1	9,5 a 19
Brita 2	19 a 38
Brita 3	38 a 76

Fonte: Adaptado de Daldegan (2017)

- d) Água: esse elemento, além de facilitar na mistura dos outros componentes, é essencial para as reações químicas que promovem as propriedades físicas do

concreto, as reações de hidratação. É necessário que a água utilizada seja potável e em quantidade correta para garantir trabalhabilidade e propriedades adequadas ao material.

#### **5.3.3.2 Aço**

O aço foi o material escolhido para ser agregado ao concreto, visto que dá, ao trabalharem conjuntamente, resistência maior à tração. Ele é dividido atualmente em duas classes: CA-50 e CA-60, em que CA significa “concreto armado”. A ABNT NBR 7480:2007 classifica como barras os elementos obtidos por laminação a quente e com dimensão nominal igual ou acima de 5 mm, e como fios, os obtidos por trefilação e com diâmetro igual ou inferior a 10 mm.

Daldegan (2017) diz que as barras utilizadas na construção civil têm superfície saliente, as chamadas mossas, que possuem dimensões determinadas por norma e interferem diretamente na aderência entre a armadura e o concreto. Olivier (2016) também ressalta a importância de que as barras e fios de aço sejam homogêneos geometricamente, para que não prejudiquem a estrutura em concreto armado.

#### **5.3.4 *Principais elementos estruturais***

Em edificações de concreto armado, tanto de pequeno ou grande porte, existem três elementos estruturais muito comuns e que são os principais: as lajes, as vigas e os pilares. Os outros, que não necessariamente estão em todas as construções, são blocos e sapatas de fundação, estacas, tubulões, consoles, etc. (BASTOS, 2006).

A seguir serão descritos sucintamente os elementos estruturais principais em concreto armado.

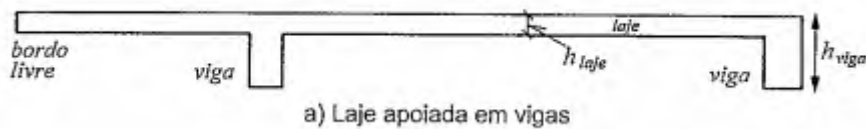
##### **5.3.4.1 Laje**

Lajes são elementos estruturais planos que recebem a maior parte das ações aplicadas numa edificação. As ações são perpendiculares ao plano da laje, podem ser divididas e distribuídas na área, distribuídas linearmente ou forças concentradas, e são provenientes de pessoas, móveis, pisos, paredes ou outro tipo de carga que exista conforme a finalidade arquitetônica do espaço. Além disso, são normalmente transmitidas para as vigas de apoio localizadas em seus bordos (BASTOS, 2006).

Conforme Clímaco (2008), as lajes são elementos de superfície, fazem parte da estrutura terciária da superestrutura de uma edificação e podem ser classificadas de acordo com a natureza de seus apoios:

- a) Lajes apoiadas em vigas: são lajes sustentadas por vigas em suas bordas e que são geralmente executadas em um único processo de moldagem. Quando não há viga na borda que a sustente, denomina-se “bordo livre” (Figura 13);

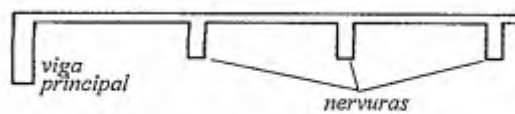
Figura 13 – Laje apoiada em vigas



Fonte: Clímaco (2008)

- b) Lajes nervuradas: esse tipo de laje pode ser completamente moldado no local ou possuir nervuras pré-moldadas, em que, nesse último caso, a “capa” moldada no local resiste à tração, e as nervuras, à tração (Figura 14);

Figura 14 – Laje nervurada



Fonte: Clímaco (2008)

- c) Lajes mistas: são lajes nervuradas em que são colocados outro material entre as nervuras, tais como tijolos ou blocos, para fornecer o teto liso (Figura 15);

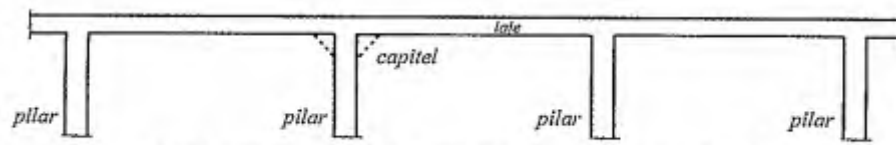
Figura 15 – Laje mista



Fonte: Clímaco (2008)

- d) Lajes cogumelo ou lisas: são lajes apoiadas diretamente em pilares. Denomina-se lajes cogumelo quando há presença de capitéis na transição pilar-laje. Caso contrário, são denominadas lajes lisas (Figura 16).

Figura 16 – Laje cogumelo ou lisa



d) Laje cogumelo ou lisa (apoiada diretamente em pilares)

Fonte: Clímaco (2008)

As espessuras mínimas das lajes são dadas pela ABNT NBR 6118:2014 e variam conforme sua utilização e classificação.

#### 5.3.4.2 Viga

Vigas são elementos lineares em que a flexão é preponderante. A seção transversal desses elementos não pode apresentar largura inferior a 12 cm e, a das vigas-parede, menor que 15 cm. Estes limites podem ser reduzidos, respeitando-se um mínimo absoluto de 10 cm em casos excepcionais, porém respeitando as seguintes considerações:

- a) Alojamento das armaduras e suas interferências com as armaduras de outros elementos estruturais, respeitando os espaçamentos e cobrimentos adequados, estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2014;
- b) Lançamento e vibração do concreto de acordo com a ABNT NBR 14931:2004.

#### 5.3.4.3 Pilar

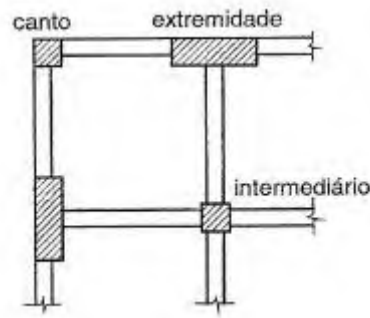
Conforme a ABNT NBR 6118:2014, pilares são elementos estruturais verticais lineares de eixo reto, onde preponderam esforços normais de compressão. Sua função principal é receber ações de outras peças estruturais e conduzi-las até a fundação. Existem também os pilares-parede, tipo de subsistema, em que uma das dimensões do pilar é menor que 1/5 da sua maior dimensão e que contribuem na estabilidade global da edificação quando necessário seu uso.

A seção transversal de pilares e pilares-parede maciços, qualquer que seja a sua forma, devem ter dimensão mínima de 19 cm. Em casos especiais, admite-se as dimensões entre 14 e 19 cm, desde que seus esforços solicitantes sejam multiplicados pelo coeficiente adicional  $\gamma_n$  indicado na ABNT NBR 6118:2014. Porém, não se admite pilar de seção menor que 360 cm<sup>2</sup>.

Os pilares são divididos em função de acordo com sua disposição (Figura 17), a saber:

- Pilares intermediários;
- Pilares de extremidade;
- Pilares de canto.

Figura 17 – Representação dos tipos de pilares



Fonte: Araújo (2009)

#### 5.4 Vantagens e desvantagens comparadas entre os sistemas construtivos abordados

Nessa parte do trabalho, são apresentadas as vantagens e desvantagens dos dois sistemas construtivos em estudo, alvenaria estrutural e concreto armado, a partir da Tabela 4 que os compara. As informações foram obtidas de diversos autores e estudos.

Tabela 4 – Tabela comparativa entre as vantagens e desvantagens da utilização de alvenaria estrutural e concreto armado

(continua)

Sistema construtivo	Vantagens	Desvantagens
<b>Alvenaria estrutural</b>	Redução dos revestimentos (superfície dos blocos estruturais não necessitam de todas as etapas de revestimento como precisam os blocos cerâmicos, por exemplo).	Dificuldade na superação de grandes vãos.
	Economia de formas, armaduras e concreto.	Não aplicável em balanços estruturais.
	Redução de mão de obra (armadores e carpinteiros, por exemplo) e de determinados materiais, o que reduz custos.	Dificuldade de rearranjo arquitetônico, já que as paredes não podem ser removidas, por terem papel estrutural.
	Técnica de execução simplificada.	Não permite improvisações.
	Redução na perda de material (eliminação de rasgos para instalações hidráulicas e elétricas).	Interferência entre projetos de arquitetura, estruturas e instalações.
	Exige pouca manutenção.	Necessidade de mão de obra especializada, ainda pouco abundante.
	Racionalização da execução das obras, o que a torna de alta velocidade construtiva.	Não pode ser utilizada em qualquer tipo de projeto devido à limitação do padrão dos blocos.

Tabela 4 – Tabela comparativa entre as vantagens e desvantagens da utilização de alvenaria estrutural e concreto armado

(conclusão)

Sistema construtivo	Vantagens	Desvantagens
<b>Construção convencional em concreto armado</b>	Mão de obra treinada em abundância.	Cronograma da obra depende da cura do concreto, que causa maior tempo de execução da obra.
	Maior rigidez à estrutura de contraventamento.	Perda de material e geração de entulho (rasgos nas paredes para instalações hidráulicas e elétricas, por exemplo).
	Rearranjo arquitetônico: possibilita alterações de <i>layout</i> , porque as paredes têm apenas função de vedação.	Recortes na estrutura (reaproveitamento de formas limitado).

Fonte: Autora

## 5.5 O CYPECAD

Para o redimensionamento da edificação em concreto armado, foi utilizado o programa computacional de cálculo estrutural CYPECAD. Ele, além do concreto armado, permite cálculo e projeto estrutural em concreto pré-moldado, protendido e misto (concreto e aço), e inclui o lançamento do projeto, análise, cálculo, dimensionamento e detalhamento da estrutura. O programa também promove o detalhamento de formas e armaduras, bem como gera tabelas com os quantitativos de materiais e memória de cálculo.

Segundo Lovizotto Filho e Silva (2015), a utilização dessa ferramenta permite o engenheiro ganhar maior produtividade e economia de tempo ao fazer um projeto estrutural, visto que exclui a necessidade de cálculos manuais dos elementos componentes. Isso se dá pelo fornecimento do programa de um ambiente altamente otimizado para o lançamento de estruturas, já que possui sistema de reconhecimento de *layers* de pilares, contornos de vigas e lajes advindos de desenhos de projeto em formato DXF/DWG.

Conforme PINI (2003), o CYPECAD, além de pilares normais, calcula também pilares-parede, poços de elevador e caixas de escada pelo método dos elementos finitos. Permite a utilização de diversos tipos de vigas normais, invertidas, “T”, rasas e treliçadas. As lajes podem ser planas, nervuradas, pré-fabricadas, alveolares e lajes inclinadas de rampas e escadas. Projeta também reservatórios, piscinas e cortinas de concreto sujeitas à pressão hidrostática e empuxos de terra. As fundações incluem sapatas isoladas ou corridas,

blocos sobre estacas, vigas baldrame, radiers, vigas de equilíbrio, cintas de amarração e muros tipo cortina.

A ferramenta computacional calcula a estrutura por meio de um modelo de pórtico espacial, através de métodos matriciais de rigidez que consideram todos os elementos estruturais utilizados.

Em resumo, Lovizotto Filho e Silva (2015) afirmam que o CYPECAD possui cinco fases para calcular a estrutura:

1. Geração da geometria da estrutura e de todos os seus elementos, formando assim a matriz de rigidez. Se algum dado incorreto for encontrado, o programa promove mensagens de erro que detém o processo;
2. Solução do sistema;
3. Obtenção dos deslocamentos de todas as hipóteses definidas. Se houver deslocamentos excessivos, é gerada nova mensagem de erro, tanto devido a um desenho estrutural feito incorretamente ou pela rigidez a torção definidas em algum elemento;
4. Obtenção das envoltórias de todas as combinações de cálculo para cada elemento da estrutura (lajes, vigas e pilares);
5. Dimensionamento da armadura por meio das envoltórias.

E ainda conforme Lovizotto Filho e Silva (2015), “O carregamento da estrutura para os pilares através dos esforços das vigas e lajes é realizado de forma automática, mas é permitido acrescentar esforços na estrutura, cargas horizontais simulando empuxos, ou cargas verticais provenientes”.

O programa trabalha com uma ampla gama de elementos estruturais, com verificação da estrutura em variadas situações, promovendo soluções para o projeto. Todos os recursos disponíveis seguem as normas brasileiras de concreto armado (ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento), fundações (ABNT NBR 6122:1996 – Projeto e execução de fundações), carregamentos (ABNT NBR 6120:1980 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações), barras (ABNT NBR 7480:2007 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação), vento (ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações) e ações e combinações (ABNT NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas - Procedimento).

## **6 ESTUDO DE CASO**

Através dos conceitos descritos, utilizou-se o método comparativo entre os sistemas construtivos de alvenaria estrutural com blocos de concreto e concreto armado com blocos cerâmicos de vedação, os quais foram analisados por meio de uma mesma edificação, a fim de encontrar a economia que determinado sistema pode gerar em relação ao outro.

Nesse trabalho, a comparação entre custos está restrita à superestrutura da edificação, considerando apenas mão de obra e materiais, sem incluir Benefícios e Despesas Indiretas (BDI).

### **6.1 Considerações principais**

O comparativo de custos entre os sistemas construtivos será realizado a partir de planta arquitetônica obtida junto ao projeto exemplo já dimensionado em alvenaria estrutural com blocos de concreto. Esses arquivos foram adquiridos pelo escritório de cálculo estrutural MBuiate Engenharia de Estruturas Ltda., localizado na cidade de Uberlândia/MG.

Esse mesmo projeto será recalculado com auxílio de programa computacional adequado, determinado CYPECAD, porém nos parâmetros do sistema construtivo convencional em concreto armado, obedecendo as exigências de segurança e qualidade impostos pelas normas vigentes já citadas. Logo, será feita análise entre os materiais empregados em cada tipo de processo para que, então, seja feito levantamento quantitativo e orçamentário, incluindo a mão de obra necessária.

Nesse trabalho, para a comparação entre custos, considerou-se o custo unitário dos serviços a serem utilizados na estrutura, mais especificamente materiais e mão de obra. Estes foram quantificados, incluindo a vedação com tijolos cerâmicos para a estrutura em concreto armado. Não foi feito o quantitativo e orçamento dos elementos de fundação.

### **6.2 Apresentação da edificação exemplo**

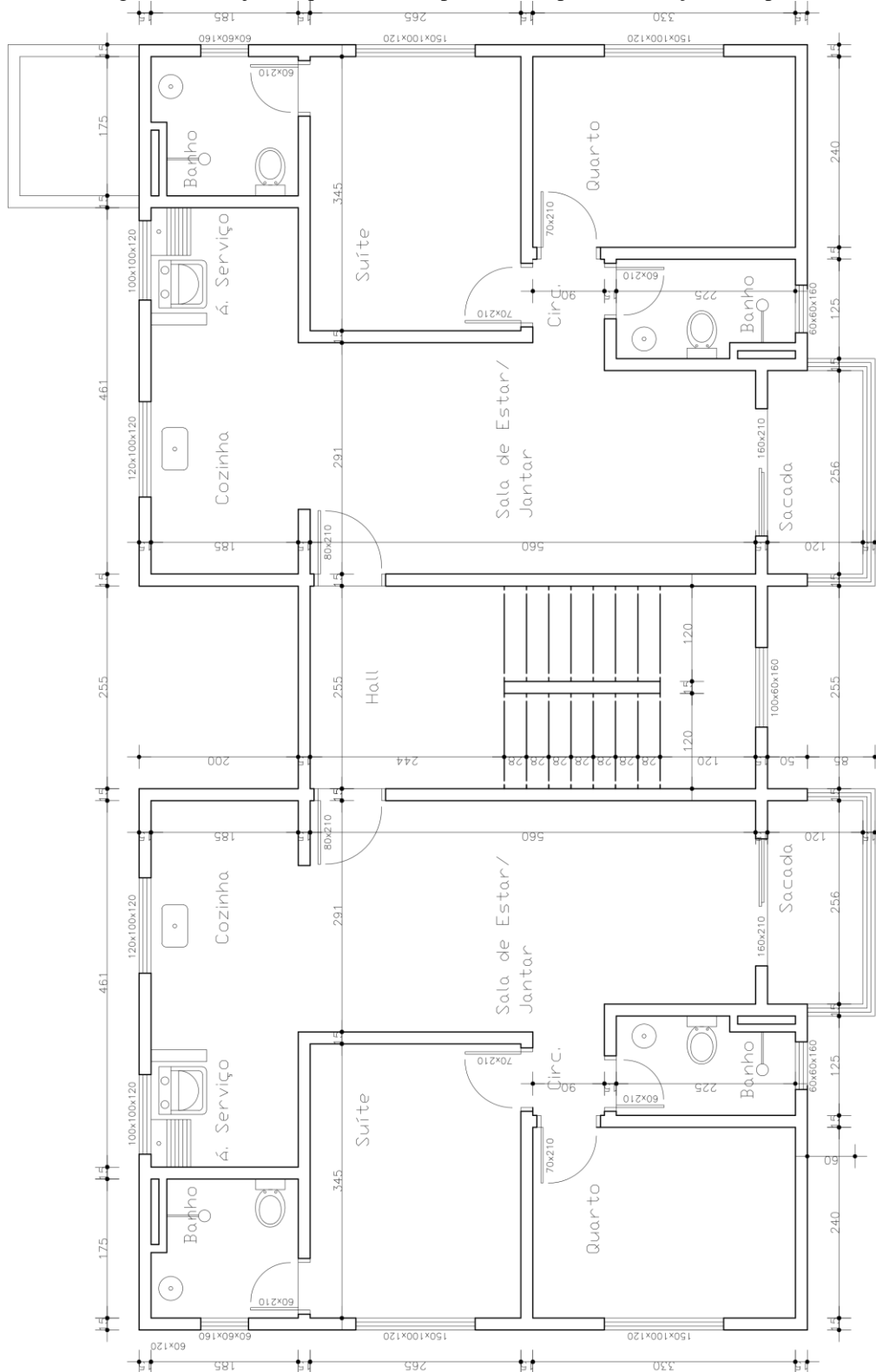
A edificação exemplo utilizada na execução deste trabalho foi obtida por meio de escritório de cálculo estrutural da cidade de Uberlândia, estado de Minas Gerais, declarado MBuiate Engenharia de Estruturas Ltda.

A obra, cujo projeto arquitetônico do pavimento tipo está ilustrado na Figura 18, é do tipo residencial multifamiliar com área de 624,12 m<sup>2</sup>, possui quatro pavimentos, além do forro/barrilete e do piso do reservatório elevado, e foi calculada em sistema principal de alvenaria estrutural com blocos de concreto. Possui também alguns elementos em concreto



armado moldado *in loco*: os blocos de fundação, as vigas baldrame, as escadas e as lajes. A Tabela 5 apresenta os valores de pé direito e dos níveis de cada pavimento da edificação.

Figura 18 – Projeto arquitetônico do pavimento tipo da edificação exemplo



Fonte: Adaptado de MBuiate (2017)

Tabela 5 – Valores de pé direito e dos níveis de cada pavimento da edificação exemplo

Piso	Pvto	Pé direito [m]	Nível [m]
6	Fundo Reservatório Elevado	1,80	13,65
5	Forro / Barrilete	2,92	11,85
4	Piso 3º Pvto	2,92	8,93
3	Piso 2º Pvto	2,92	6,01
2	Piso 1º Pvto	2,87	3,09
	Piso Acabado - Pvto Térreo	0,05	0,22
1	Fundação Superficial - Pvto Térreo		0,17

Fonte: Adaptado de MBuiate (2017)

Foi considerado o uso de alvenaria com blocos de concreto revestidos com argamassa de cimento e areia, contrapiso de concreto magro com espessura média de 4 cm e revestimento cerâmico nas áreas internas e de uso comum da edificação. Além disso, proteção mecânica com concreto magro de espessura 2 cm, impermeabilização com manta asfáltica e uso de telhas de fibrocimento apoiadas em estrutura de madeira na cobertura.

A edificação foi dimensionada para atender concreto com peso próprio de 2.500 kgf/m<sup>3</sup> e para obedecer às seguintes propriedades do mesmo:

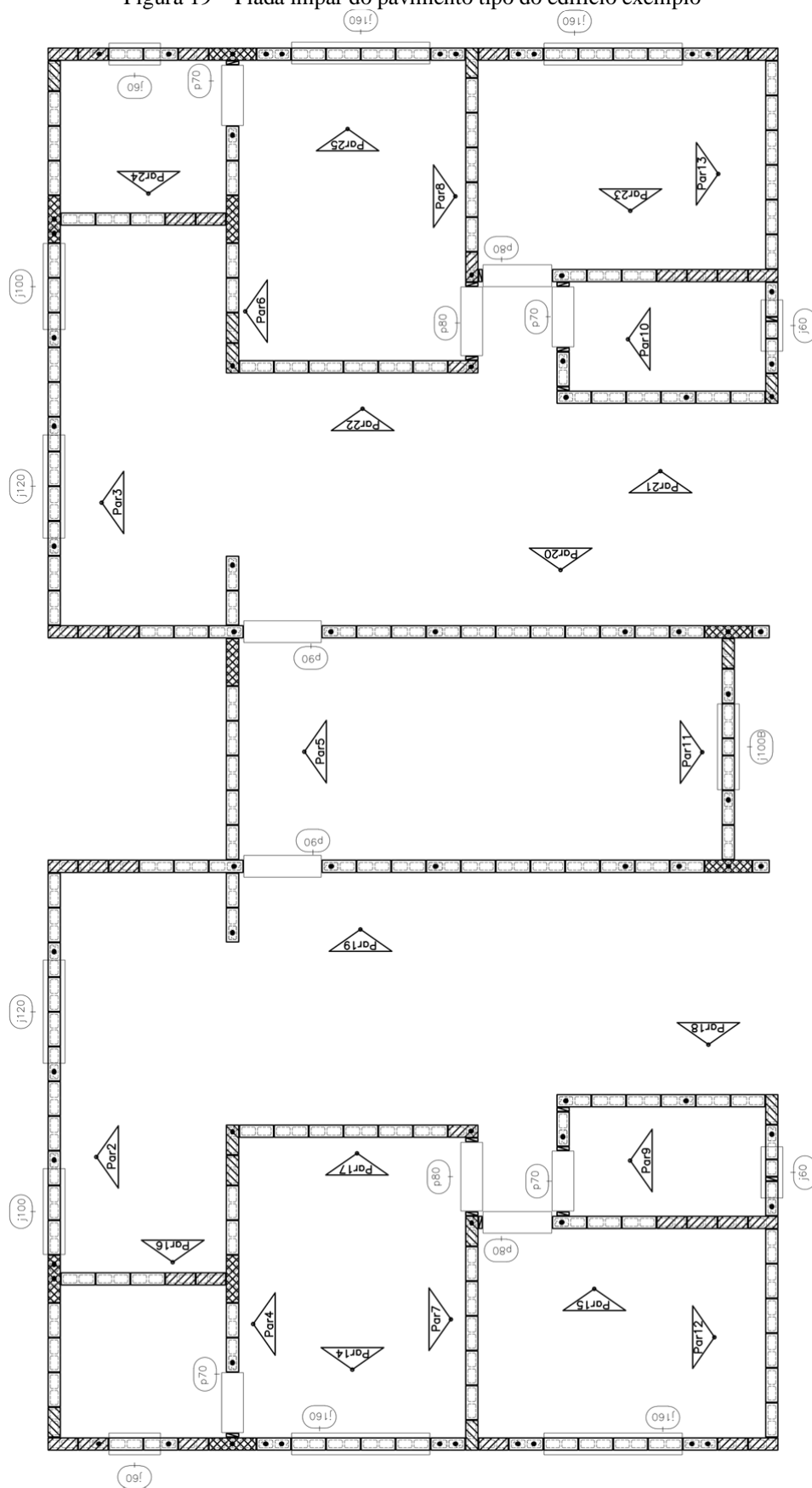
- módulo de elasticidade inicial do concreto ( $E_{ci}$ ) de 36807,0 MPa (basalto);
- resistência à compressão característica ( $f_{ck}$ ) de 30 MPa (C30); e
- relação água/cimento de 0,6.

Ainda a respeito da alvenaria estrutural, os blocos de concreto considerados tinham peso específico de 1427,6 kgf/m<sup>3</sup>, resistência característica ( $f_{bk}$ ) de 4,0 e 6,0 MPa e deveriam respeitar as seguintes indicações:

- resistência do prisma ( $f_p$ ):  $2,80 \text{ MPa} \leq f_p \leq 3,20 \text{ MPa}$  para  $f_{bk} = 4,0 \text{ MPa}$   
 $4,20 \text{ MPa} \leq f_p \leq 4,80 \text{ MPa}$  para  $f_{bk} = 6,0 \text{ MPa}$
- resistência característica da argamassa de assentamento ( $f_{ak}$ ):  $0,70 f_{bk} \leq f_{ak} \leq 1,30 f_{bk}$
- resistência característica do graute ( $f_{gk}$ ): 15,0 MPa para  $f_{bk} = 4,0$  ou 6,0 MPa

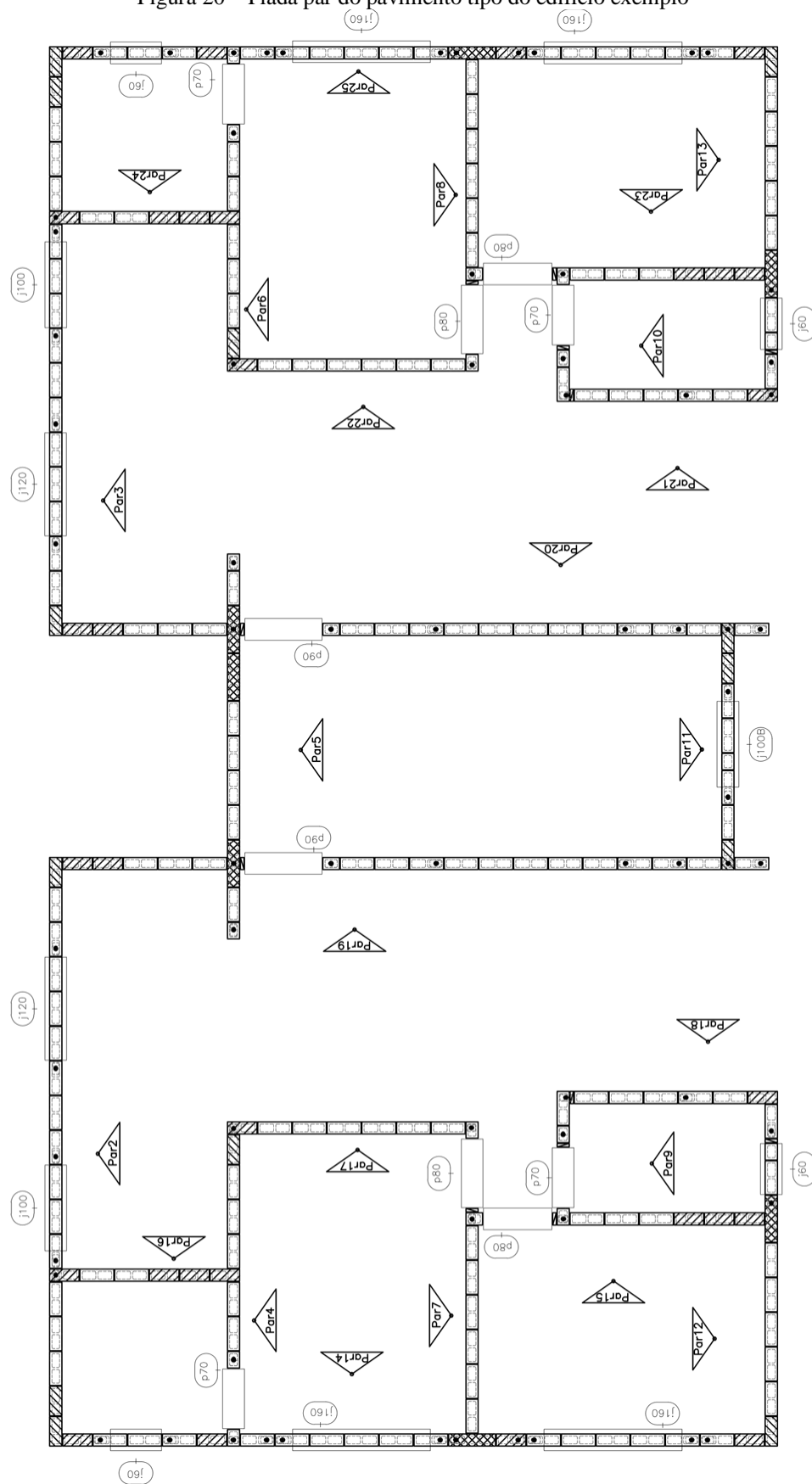
As modulações dos blocos de concreto das paredes do projeto foram feitas via programa computacional denominado CAD/TQS, enquanto que os outros elementos da estrutura, pelo CYPECAD. As Figuras 19 e 20 apresentam, respectivamente, as plantas de fiadas ímpar e par do pavimento tipo desse edifício exemplo. Já a Figura 21 apresenta um esquema em três dimensões (3D) da edificação, adquirida por meio do programa CYPECAD.

Figura 19 – Fiada ímpar do pavimento tipo do edifício exemplo



Fonte: Adaptado de MBuiate (2017)

Figura 20 – Fiada par do pavimento tipo do edifício exemplo



Fonte: Adaptado de MBuiate (2017)

Figura 21 – Esquema em 3D da edificação em alvenaria estrutural



Fonte: CYPECAD (2017)

É preciso ressaltar que, além de respeitar as normas brasileiras citadas anteriormente, e que são utilizadas pelo programa computacional CYPECAD, também foram obedecidos, no caso desse projeto em alvenaria estrutural, os critérios das normas ABNT NBR 15961-1:2011, ABNT NBR 6136:2016, ABNT NBR 8798:1985 e ABNT NBR 8215:1983.

### **6.3 Redimensionamento em estrutura convencional de concreto armado**

#### ***6.3.1 Lançamento dos dados da estrutura***

Para o dimensionamento da edificação exemplo em estrutura de concreto armado convencional, foi criado projeto no CYPECAD. Inicialmente, definiu-se o nome do projeto, que fica a critério do operador, e então foram inseridos os dados referentes à obra. Definiu-se a classe de agressividade do ambiente como moderada (II), por ser uma edificação residencial a ser construída em zona urbana, e resistência característica dos elementos em concreto armado ( $f_{ck}$ ) de 25 MPa, conforme indicado na Figura 22.

Figura 22 – Dados gerais da obra

Chave: TCC

Descrição: Caroline Ribeiro Diniz

Normas: ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 14762: 2010, ABNT NBR 8800:2008, NBR 7190 e Eurocódigo 9

**Concreto armado**

**Concreto**

Pisos: C25, em geral

Fundação: C25, em geral

Tubulões: C25, em geral

Pilares: C25, em geral

Cortinas: C25, em geral

Características do agregado: Basalto (19 mm)

**Aço**

Barras: CA-50 e CA-60

Parafusos: ISO 898.C4.6

**Perfis**

**Aço**

Laminados e soldados: A-36 250Mpa

Dobrados: CF-26

**Madeira**

Serrada - Coníferas - C20

**Alumínio extrudado**

EN AW-5083 - F

**Ações**

Carga permanente e sobrecarga

☒ Com ação do vento

☐ Com ação sísmica

☐ Verificar resistência ao fogo

Estados limites (combinações)

Ações adicionais (cargas especiais)

**Coeficientes de flambagem**

Pilares de betão e mistos

Bx: 1.000 By: 1.000

Pilares em aço

Bx: 1.000 By: 1.000

**Ambiente**

Vigas: CAA II (Abertura máxima de fissura: 0.30 mm)

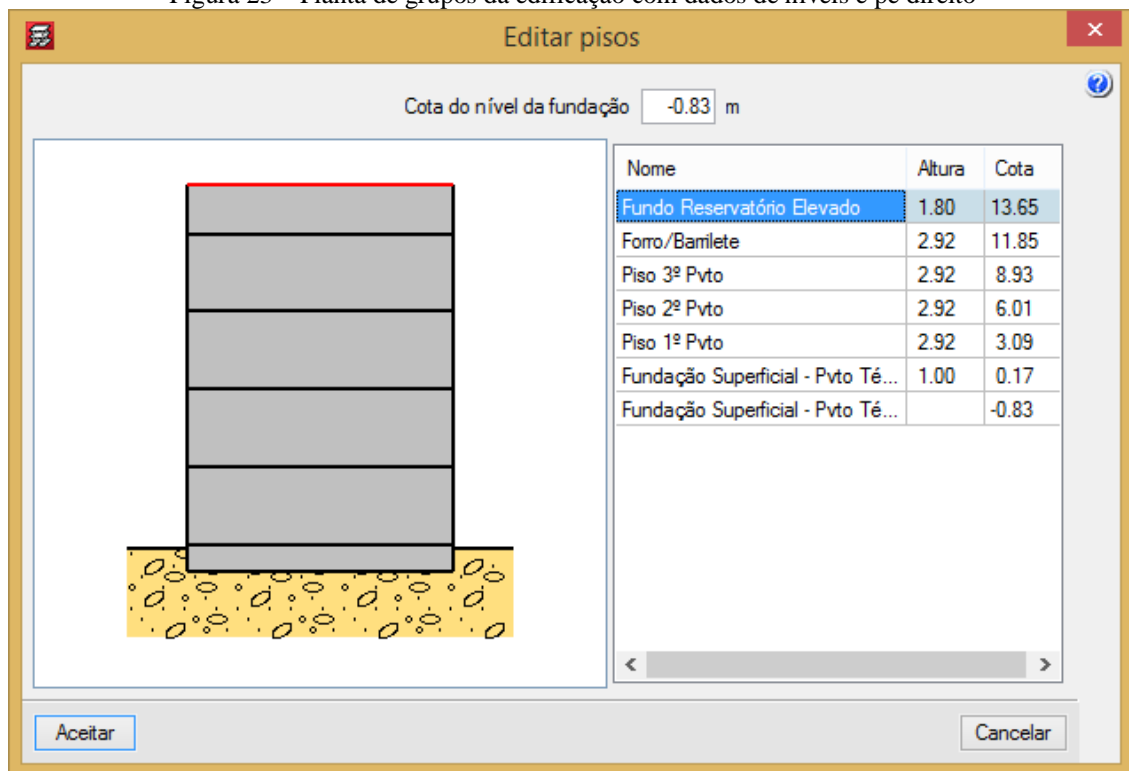
Blocos de coroamento: CAA II

Aceitar

Fonte: CYPECAD (2017)

Antes da inserção dos dados para o cálculo do vento, foi preciso criar a planta de grupos, indicando o nível e pé direito de cada grupo, dados na Tabela 5, e as sobrecargas (SCU) e cargas permanentes (CP) atuantes em cada um deles, conforme a ABNT NBR 6120:1980. Esses dados podem ser vistos nas Figuras 23 e 24.

Figura 23 – Planta de grupos da edificação com dados de níveis e pé direito



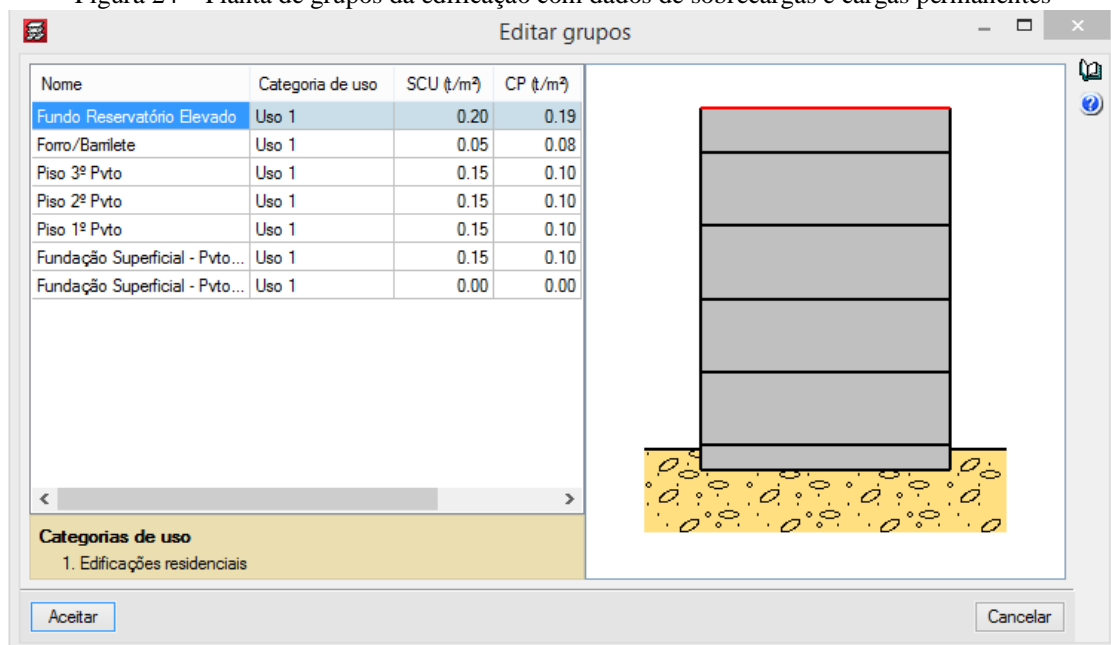
Cota do nível da fundação: -0.83 m

Nome	Altura	Cota
Fundo Reservatório Elevado	1.80	13.65
Forno/Banilete	2.92	11.85
Piso 3º Pvlo	2.92	8.93
Piso 2º Pvlo	2.92	6.01
Piso 1º Pvlo	2.92	3.09
Fundação Superficial - Pvlo Té...	1.00	0.17
Fundação Superficial - Pvlo Té...		-0.83

Aceitar Cancelar

Fonte: CYPECAD (2017)

Figura 24 – Planta de grupos da edificação com dados de sobrecargas e cargas permanentes



Nome	Categoria de uso	SCU (t/m²)	CP (t/m²)
Fundo Reservatório Elevado	Uso 1	0.20	0.19
Forno/Banilete	Uso 1	0.05	0.08
Piso 3º Pvlo	Uso 1	0.15	0.10
Piso 2º Pvlo	Uso 1	0.15	0.10
Piso 1º Pvlo	Uso 1	0.15	0.10
Fundação Superficial - Pvlo...	Uso 1	0.15	0.10
Fundação Superficial - Pvlo...	Uso 1	0.00	0.00

Categorias de uso  
1. Edificações residenciais

Aceitar Cancelar

Fonte: CYPECAD (2017)

Foram lançados, então, os dados referentes ao cálculo da força de vento, que podem ser vistos na Figura 25. A Categoria utilizada foi a II, pois esta foi dada automaticamente pelo programa depois de disposta a planta de grupos, que indicou a largura da faixa de ação do vento. Depois de estabelecidos todos esses dados, inicia-se o lançamento dos elementos estruturais da edificação.

Figura 25 – Dados referentes ao cálculo da força de vento

Norma para o cálculo da sobrecarga de vento

☒ Brasil

☐ Argentina

☐ Chile

☐ Colômbia

☐ Costa Rica

☐ Cuba

☐ El Salvador

☐ Equador

☐ Guatemala

☐ Honduras

☐ México

☐ Nicarágua

☐ Panamá

☐ Paraguai

☐ Peru

☐ República Dominicana

☐ Uruguai

☐ Venezuela

☐ Método geral

☐ UE

☐ Alemanha

☐ Bélgica

☐ Bulgária

☐ Espanha

☐ França

☐ Itália

☐ Portugal

☐ Reino Unido

☐ Romênia

☐ Rússia

☐ África do Sul

☐ Argélia

☐ Marrocos

☐ Canadá

☐ USA

☐ China

☐ Índia

☐ Singapura

☒ NBR 6123

NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações

☒ Ação de vento segundo X + X 0.92 - X 0.92

☒ Ação de vento segundo Y + Y 1.23 - Y 1.23

Larguras de faixa: Y: 5.90-8.40 X: 2.85-16.17 Por planta

Velocidade Básica: 34.0 m/s

Categoria: II

Classe: A

Fator Probabilístico: Grupo 2

Fator Topográfico +x: 1.0

Fator Topográfico -x: 1.0

Fator Topográfico +y: 1.0

Fator Topográfico -y: 1.0

Mapa do Brasil com zonas de velocidade de vento indicadas (30, 35, 40, 45, 50 m/s).

Aceitar Sem efeitos de 2ª ordem Cancelar

Fonte: CYPECAD (2017)

### 6.3.2 Lançamento estrutural

De posse do projeto arquitetônico da edificação em estudo (Figura 18), foi feito o lançamento da estrutura no programa CYPECAD. Nesta etapa definiu-se o posicionamento dos elementos estruturais a serem utilizados, com o intuito de formar um sistema eficiente, obedecendo os critérios de qualidade estabelecidos pelas normas técnicas brasileiras vigentes.

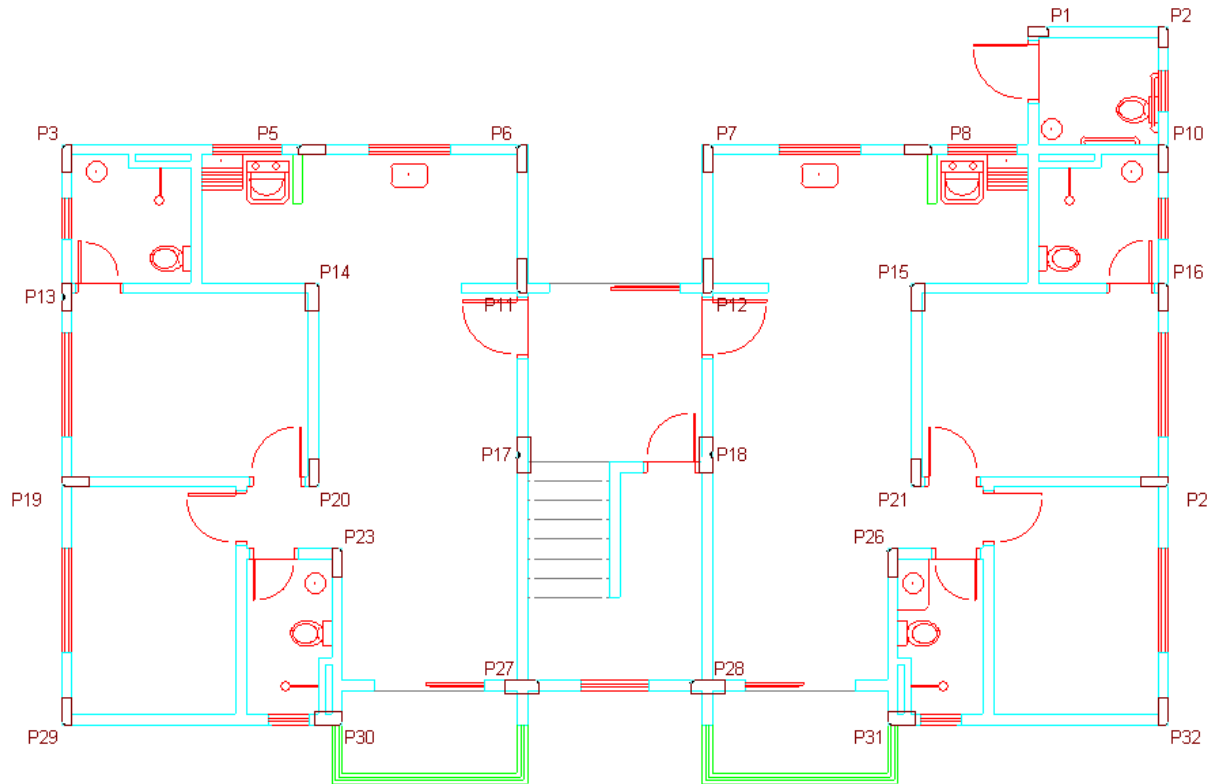
Os primeiros elementos estruturais lançados no programa foram os pilares. Procurou-se posicioná-los nos cantos da edificação e nos encontros de paredes, que posteriormente seriam locadas as vigas, e a fim de garantir a fácil passagem de instalações hidráulicas. Além disso, buscou-se mantê-los de forma alinhada, a fim de criar pórticos de contraventamento.

Todos os pilares foram posicionados inicialmente com dimensão retangular de 14 x 40 cm, com o objetivo de embuti-los nas paredes pré-determinadas de 15 cm de espessura no projeto arquitetônico, e que condiz a menor dimensão admissível pela ABNT NBR 6118:2014, que é de 14 cm, bem como respeita a área mínima de 360 cm<sup>2</sup> também ditada pela norma. Essa medida não foi adotada apenas na região da escada, já que nela está localizado o



último pavimento da edificação com os reservatórios elevados de água. Assim, os pilares nessa região foram inicialmente alocados com 14 x 50 cm de dimensão. A Figura 26 apresenta o posicionamento inicial dos pilares na estrutura, indicados pelo prefixo P1 por diante.

Figura 26 – Posicionamento inicial dos pilares

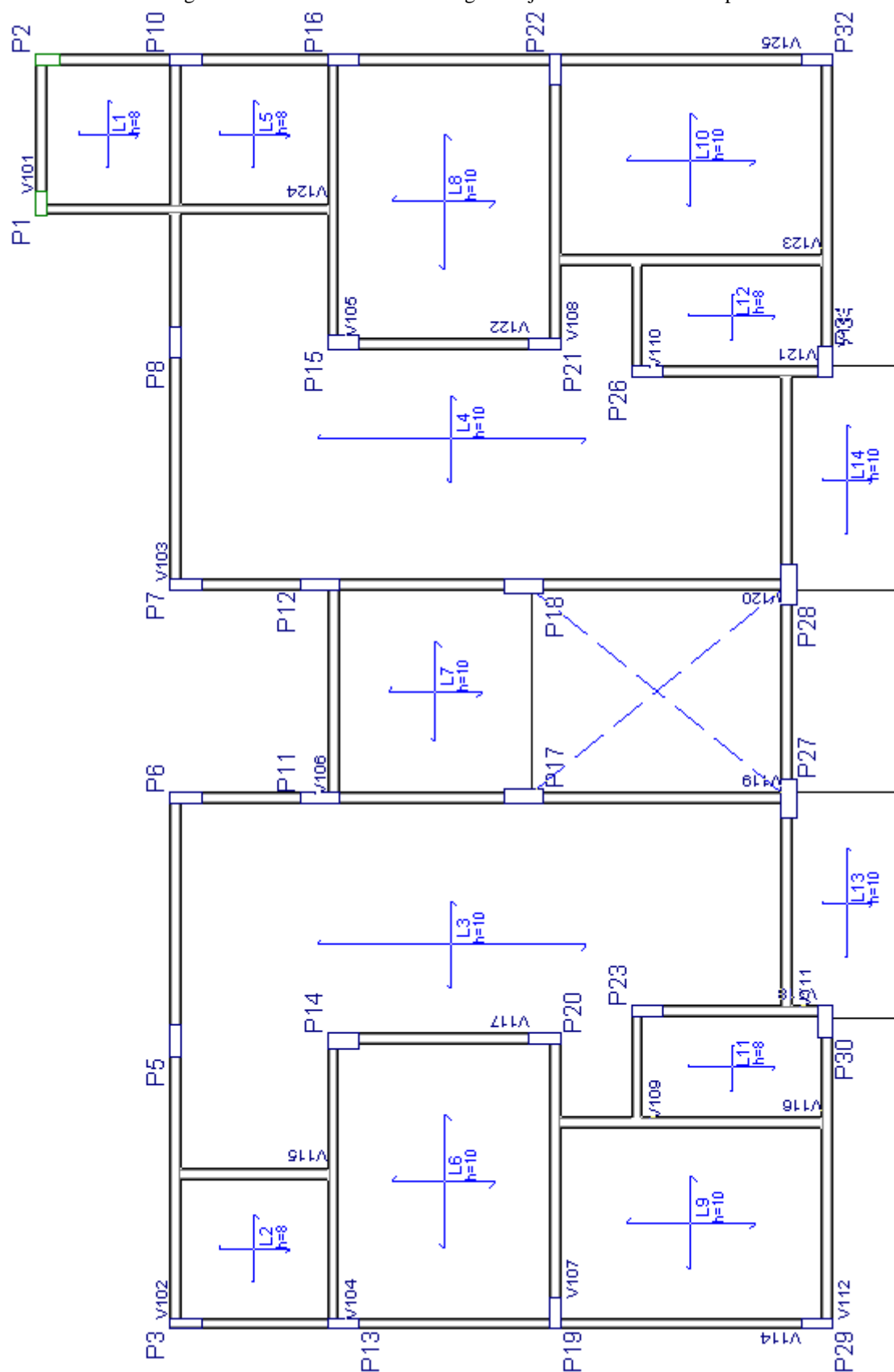


Fonte: CYPECAD (2017)

Após os pilares, foram então locadas as vigas, acima das paredes indicadas no projeto arquitetônico. Estas também obedeceram às prescrições da norma e foram posicionados com dimensão inicial também de 14 x 40 cm para estarem embutidas na alvenaria.

Assim, por meio do fechamento entre as vigas, foram pré-determinadas as lajes, que são maciças e bidirecionais. A altura delas foi adotada de 10 cm, exceto os banheiros (8 cm, com rebaixamento de 4 cm), piso das sacadas (lajes em balanço de altura 10 cm, com rebaixamento de 4 cm) e *halls* das escadas (10 cm, com rebaixamento de 2 cm). Também foram posicionadas nervuras não estruturais de bordo livre a fim de estabelecer o espaço onde está a escada (indicada como um vazio até esta etapa) e também as varandas. Não foram criados vazios nas lajes para *shafts*, visto que não são de obrigatória presença em estruturas em concreto armado como são em de alvenaria estrutural. A Figura 27 mostra a locação de vigas (indicadas com o prefixo V101 por diante) e lajes (com prefixo L1 em diante), bem como os pilares.

Figura 27 – Posicionamento das vigas e lajes no 1º Pavimento Tipo



Fonte: CYPECAD (2017)

Colocados os elementos anteriores, fez-se o posicionamento da escada também de acordo com a planta arquitetônica. O programa permite escolher o formato da escada, inserir os valores de sua geometria (largura, base e espelho), de seus patamares e da altura da laje. As Figuras 28 e 29 mostram esses valores colocados no programa.

Figura 28 – Indicações de dados do núcleo da escada

Referência: Escada (2x) Ppto Tipo

Piso inicial: Piso 1º Ppto

Dados do núcleo de escadas | Tramos

**Geometria**

Largura (a) 1.200 m

Piso (h) 0.280 m

Espelho (t) 0.182 m

Rot.: ☒ Esquerda ☐ Direita

**Cargas**

Degraus: ☒ Concretado com a laje ☐ Realizado com tijolos

Guarda-corpos (Qb) 0.300 t/m

Revestimento 0.100 t/m²

Categoria de uso: Uso 1

Sobrecarga 0.200 t/m²

Aceitar Cancelar

Fonte: CYPECAD (2017)

Figura 29 – Indicações de dados da tipologia da escada

Referência: Escada (2x): Ppto. Tipo

☒ Altura da laje 0.14 m

☐ Desnível do arranque 0.20 m

☐ Com degraus iniciais acrescidos

☒ Forma predefinida ☐ Forma livre

**Lance Degráus L.h. inicial (m) L.h. final (m)**

Lance	Degráus	L.h. inicial (m)	L.h. final (m)
Primeiro	8	0.00	0.00
Segundo	8	0.03	0.00

Largura da bomba da escada 0.15 m

☐ Com largura do patamar diferente à largura da escada 1.000 m

Degráus acrescentados nos patamares Sem degráus acrescentados

☒ Patamar apoiado ☐ Patamar livre

Localização Lateral

Tipo Alvenaria blocos

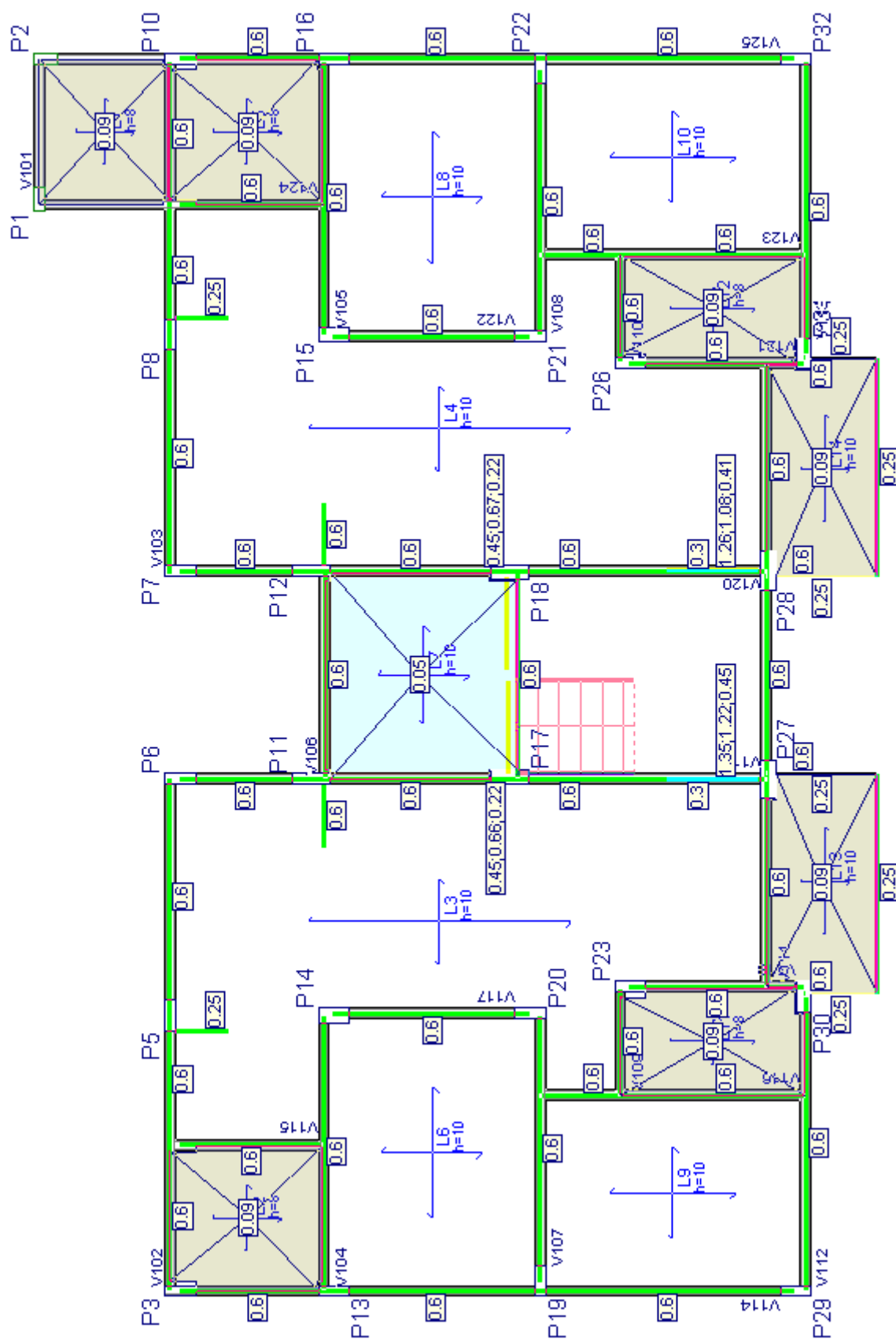
Largura 0.17 m

Piso: 0.280 m  
Espelho: 0.182 m  
Nº de degraus: 16  
Desnível que vence: 2.91 m

Fonte: CYPECAD (2017)

Posteriormente, foram introduzidos os valores das cargas permanentes e acidentais nos elementos da estrutura. As mesmas foram colocadas com base na ABNT NBR 6120:1980 e estão representadas na Figura 30. Linearmente, em tf/m, estão indicadas as cargas referentes a alvenaria, em cor verde. Já superficialmente, em tf/m<sup>2</sup>, estão indicadas as cargas referentes a áreas molhadas e *hall* da escada que estavam faltando, para que sejam corretamente consideradas as cargas ditadas pela norma. Essas estavam faltando, pois na etapa de lançamento de dados foram colocadas as cargas para todo o pavimento de forma igual para todas as lajes, no valor de 0,10 tf/m<sup>2</sup>. Não foram colocadas as cargas referentes ao peso próprio da estrutura, já que são consideradas automaticamente pelo programa.

Figura 30 – Cargas na estrutura do 1º Pavimento Tipo da edificação

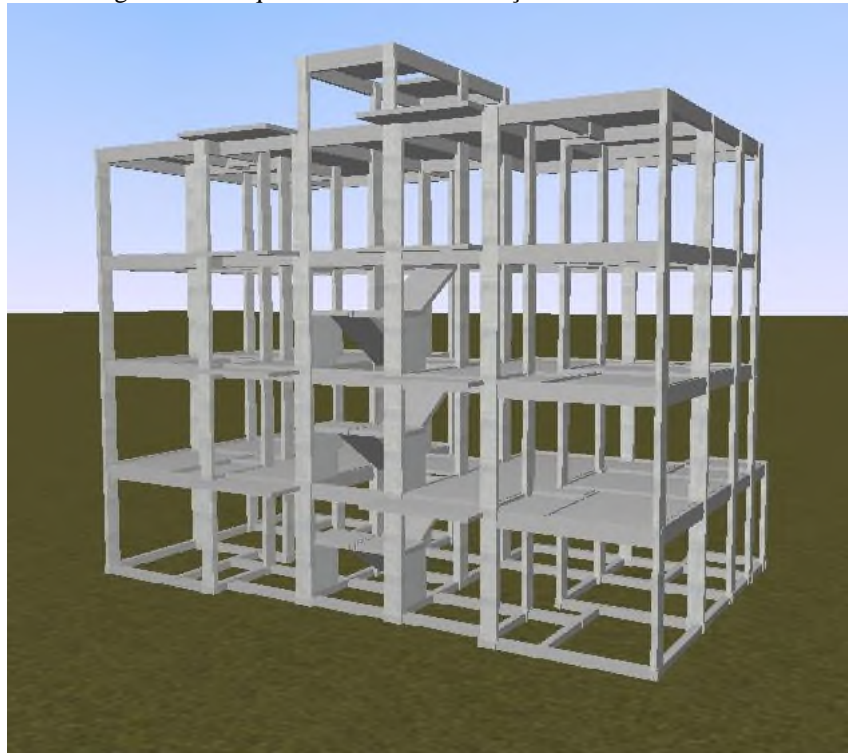


Fonte: CYPECAD (2017)

Dessa forma, através de mecanismo de cópia de grupos do CYPECAD, foram copiadas a distribuição de vigas, lajes e cargas para os pavimentos superiores e feitas as alterações necessárias nos pavimentos do Forro/Barrilete e Fundo do Reservatório Elevado. No Forro/Barrilete, por exemplo, existem cargas de alvenaria apenas em seu contorno para a platibanda e não há rebaixamento de lajes. Já no Reservatório Elevado, ao *layout* é diferente dos outros pavimentos e é preciso adicionar carga permanente dos reservatórios que ali existirão, e que, no caso, foi concentrada de valor 4 t para cada reservatório.

Feitas todas as etapas, o lançamento estrutural da edificação está pronto, o que permite ver esquema da edificação em 3D fornecido pelo programa (Figura 31), e a mesma já pode ser calculada.

Figura 31 – Esquema em 3D da edificação em concreto armado



Fonte: CYPECAD (2017)

### 6.3.3 Cálculo da obra

O cálculo da obra foi realizado através do comando “Calcular a obra (sem dimensionar fundação)” a fim de se obter os esforços, o dimensionamento e o detalhamento da estrutura. Ao ser finalizado, o CYPECAD indicou os erros encontrados, que foram analisados e corrigidos adequadamente para não comprometer a segurança da edificação.

Para cada erro corrigido, foi necessário reprocessar a obra. Entre os erros obtidos, foi indicada a necessidade de aumento da seção de alguns pilares (P14, P15, P17, P18, P27 e

P28), que foram acrescidas em 5 cm na menor dimensão, sendo agora de 19 x 40 cm e 19 x 50 cm. Também foi necessário alterar o detalhamento de armaduras das vigas V203, V204, V205, V219, V220, V318, V412, V417, V418 e V422.

A verificação das flechas nas lajes não é realizada automaticamente pelo programa e foi feita a partir da análise de grelha não linear. Flechas maiores que as limite (comprimento do vão dividido por 250, para deslocamentos totais em elementos estruturais, conforme ABNT NBR 6118:2014) sugeriam aumento da seção dos elementos diagnosticados, que foram, então, alterados.

Dessa forma, após realizadas todas as análises de erros e correções correspondentes, fez-se o processamento final da obra que, então, definiu o posicionamento e dimensões finais dos elementos estruturais, bem como detalhamento da armadura dos mesmos. As plantas de formas finais dos pavimentos são mostradas nos Anexos A, B, C, D e E.

## **7 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS QUANTITATIVOS E CUSTOS**

### **7.1 Levantamento quantitativo de materiais e serviços**

De posse dos projetos finais dimensionados em alvenaria estrutural e concreto armado, o programa CYPECAD fornece tabelas de quantitativos de armaduras (de cada bitola especificamente), volume de concreto e área de formas de todos os elementos estruturais da edificação. Com isso, foram utilizadas também as Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO) que fornecem a mão de obra e outros materiais necessários para a execução de determinado serviço, bem como seus consumos unitários.

O quantitativo de armaduras gerado pelas tabelas do CYPECAD já acresce automaticamente os valores em 5% para considerar as perdas de corte e dobra durante a obra.

O quantitativo de blocos de concreto, também de forma automática pelo programa, já desconsidera as aberturas de janelas e portas. Já para os cerâmicos, foram descontadas essas áreas de forma manual.

Em relação às formas, a ferramenta computacional fornece apenas a sua área, enquanto que as composições da TCPO, a partir da quantidade de reaproveitamentos, indica todos os materiais e recursos humanos necessários para sua execução.

Dessa forma, através das tabelas geradas pelo CYPECAD e pelas composições de serviços da TCPO, obteve-se, para o sistema construtivo em alvenaria estrutural com blocos de concreto, a Tabela 6, com os quantitativos de materiais necessários, e a Tabela 7, com os de recursos humanos.

Tabela 6 – Quantitativos de materiais para o sistema de alvenaria estrutural com blocos de concreto

<b>Quantitativo de Materiais Total - Projeto em Alvenaria Estrutural</b>		
<b>Item</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>
Bloco inteiro 39 x 14 x 19	un.	7806
Meio bloco 19 x 14 x 19	un.	820
Bloco T 54 x 14 x 19	un.	471
Bloco L 34 x 14 x 19	un.	2350
Bloco cortado (15)	un.	697
Bloco L p/ canaleta	un.	170
Bloco 1/2 canaleta (15)	un.	128
Bloco canaleta (15)	un.	1414
Bloco J (15)	un.	1
Argamassa industrializada multiuso para assentamento de alvenaria	m³	10,53
Graute fgk = 15 MPa	m³	19,83
Chapa compensada resinada (espessura: 12 mm)	m²	201,70
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3 mm)	kg	32,27
Pontaletes 3" x 3" (altura: 75 mm / largura: 75 mm)	m	968,14
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	1331,19
Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	m	83,91
Tábua 1" x 6" (espessura: 25 mm / largura: 150 mm)	m	80,68
Desmoldante de fôrmas para concreto	l	16,14
Prego 17x27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3 mm)	kg	80,68
Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	kg	40,34
Concreto usinado bombeável C30	m³	78,13
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP (0,75 kW) • vida útil 20.000 h	h/prod.	15,63
Aço CA-60, 5,0 mm	kg	1499,30
Aço CA-50, 6,3 mm	kg	2100,10
Aço CA-50, 8,0 mm	kg	393,30
Aço CA-50, 10,0 mm	kg	1356,00
Aço CA-50, 12,5 mm	kg	115,70
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	un.	77048
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	109,29

Fonte: Autora



Tabela 7 – Quantitativos de mão de obra para o sistema de alvenaria estrutural com blocos de concreto

<b>Quantitativo de Mão de Obra Total - Projeto em Alvenaria Estrutural</b>		
<b>Item</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>
Armador	h	366,48
Ajudante de armador	h	366,48
Carpinteiro	h	658,33
Ajudante de Carpinteiro	h	164,58
Pedreiro	h	1170,60
Servente	h	1701,54

Fonte: Autora

Já as Tabelas 9 e 10 apresentam, respectivamente, os quantitativos de materiais e mão de obra para o sistema construtivo em concreto armado convencional com blocos cerâmicos de vedação.

Tabela 8 – Quantitativos de materiais para o sistema de concreto armado com blocos cerâmicos de vedação

<b>Quantitativo de Materiais Total - Projeto em Concreto Armado</b>		
<b>Item</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>
Bloco cerâmico de vedação 14 x 19 x 39 cm	un.	15199
Argamassa industrializada multiuso para assentamento de alvenaria	m³	27098,74
Chapa compensada resinada (espessura: 12 mm)	un.	323
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3 mm)	kg	51,73
Pontalete 3" x 3" (altura: 75 mm / largura: 75 mm)	m	1551,86
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	2133,81
Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	m	134,49
Tábua 1" x 6" (espessura: 2 mm / largura: 150 mm)	m	129,32
Desmoldante de fôrmas para concreto	l	25,86
Prego 17x27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3 mm)	kg	129,32
Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	kg	64,66
Concreto usinado bombeável C25	m³	117,36
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP (0,75 kW) • vida útil 20.000 h	h/prod.	23,47
Aço CA-60, 5,0 mm	kg	3951,04
Aço CA-50, 6,3 mm	kg	819,02
Aço CA-50, 8,0 mm	kg	467,04
Aço CA-50, 10,0 mm	kg	2217,57
Aço CA-50, 12,5 mm	kg	561,54
Espaçador circular de plástico (cobrimento: 30 mm)	un.	143441
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	160,32

Fonte: Autora

Tabela 9 – Quantitativos de mão de obra para o sistema de concreto armado com blocos cerâmicos de vedação

<b>Quantitativo de Mão de Obra Total - Projeto em Concreto Armado</b>		
<b>Item</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>
Armador	h	562,95
Ajudante de armador	h	562,95
Carpinteiro	h	1055,27
Ajudante de Carpinteiro	h	263,82
Pedreiro	h	1018,39
Servente	h	1414,80

Fonte: Autora

## 7.2 Levantamento de custos de materiais e serviços

Para o levantamento dos custos da edificação em ambos os sistemas construtivos, foi preciso pesquisar o custo unitário de cada insumo necessário para, então, obter o valor total para a execução de cada serviço. Esses custos unitários foram conseguidos por meio de tabelas de insumos e composições desonerados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), datadas de março de 2017, com preços estipulados para o estado de Minas Gerais.

Apenas alguns blocos de concreto estruturais não foram encontrados por meio do SINAPI, sendo eles o “Bloco T 54 x 14 x 19”, “Bloco L 34 x 14 x 19”, “Bloco cortado (15)”, “Bloco L p/ canaleta”, “Bloco 1/2 canaleta (15)” e “Bloco J (15)”, que tiveram, então, seus preços unitários obtidos por meio de fornecedores da cidade de Uberlândia.

Desse modo, ao multiplicar o quantitativo de materiais e serviços aos custos unitários obtidos pelo SINAPI e pelos fornecedores de Uberlândia, obteve-se o valor total para execução de cada serviço nos sistemas construtivos abordados. Esses preços estão indicados nas Tabelas 11 e 12, para sistema de alvenaria estrutural, e Tabelas 13 e 14, para concreto armado convencional.

Tabela 10 – Orçamento de materiais para o sistema de alvenaria estrutural com blocos de concreto

(continua)

<b>Orçamento dos Materiais da Estrutura da Edificação em Alvenaria Estrutural</b>						
	<b>Insumo</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Preço total</b>	<b>% em relação ao preço total final</b>
<b>ALVENARIA</b>	Bloco inteiro 39 x 14 x 19	un.	7806	R\$ 1,75	R\$ 13.660,50	14,38%
	Meio bloco 19 x 14 x 19	un.	820	R\$ 1,07	R\$ 877,40	0,92%
	Bloco T 54 x 14 x 19	un.	471	R\$ 2,50	R\$ 1.177,50	1,24%
	Bloco L 34 x 14 x 19	un.	2350	R\$ 2,20	R\$ 5.170,00	5,44%
	Bloco cortado (15)	un.	697	R\$ 1,30	R\$ 906,10	0,95%
	Bloco L p/ canaleta	un.	170	R\$ 1,69	R\$ 287,30	0,30%
	Bloco 1/2 canaleta (15)	un.	128	R\$ 1,79	R\$ 229,12	0,24%
	Bloco canaleta (15)	un.	1414	R\$ 1,98	R\$ 2.799,72	2,95%
	Bloco J (15)	un.	1	R\$ 1,35	R\$ 1,35	0,00%
	Argamassa industrializada multiuso para assentamento de alvenaria	m³	10,53	R\$ 945,25	R\$ 9.952,54	10,48%
<b>GRAUTE</b>	Graute fgk = 15 MPa	m³	19,83	R\$ 243,14	R\$ 4.820,25	5,07%
<b>FORMAS</b>	Chapa compensada resinada (espessura: 12 mm)	un.	83	R\$ 31,84	R\$ 2.653,71	2,79%
	Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3 mm)	kg	32,27	R\$ 7,68	R\$ 247,84	0,26%
	Pontalete 3" x 3" (altura: 75 mm / largura: 75 mm)	m	968,14	R\$ 2,61	R\$ 2.526,83	2,66%
	Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	1331,19	R\$ 0,68	R\$ 905,21	0,95%
	Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	m	83,91	R\$ 8,83	R\$ 740,88	0,78%
	Tábua 1" x 6" (espessura: 2 mm / largura: 150 mm)	m	80,68	R\$ 5,83	R\$ 470,35	0,50%
	Desmoldante de fôrmas para concreto	l	16,14	R\$ 5,64	R\$ 91,00	0,10%
	Prego 17x27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3 mm)	kg	80,68	R\$ 7,82	R\$ 630,90	0,66%

Tabela 11 – Orçamento de materiais para o sistema de alvenaria estrutural com blocos de concreto

(conclusão)

<b>Orçamento dos Materiais da Estrutura da Edificação em Alvenaria Estrutural</b>						
	<b>Insumo</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Preço total</b>	<b>% em relação ao preço total final</b>
<b>FORMAS</b>	Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	kg	0,05	R\$ 8,50	R\$ 0,43	0,00%
<b>CONCRETO</b>	Concreto usinado bombeável C30	m³	78,13	R\$ 270,37	R\$ 21.124,01	22,24%
	Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP (0,75 kW) • vida útil 20.000 h	h/prod.	15,63	R\$ 1,54	R\$ 24,06	0,03%
<b>ARMADURA</b>	Aço CA-60, 5,0 mm	kg	1499,30	R\$ 3,44	R\$ 5.157,59	5,43%
	Aço CA-50, 6,3 mm	kg	2100,10	R\$ 3,63	R\$ 7.623,36	8,03%
	Aço CA-50, 8,0 mm	kg	393,30	R\$ 4,08	R\$ 1.604,66	1,69%
	Aço CA-50, 10,0 mm	kg	1356,00	R\$ 3,47	R\$ 4.705,32	4,95%
	Aço CA-50, 12,5 mm	kg	115,70	R\$ 3,30	R\$ 381,81	0,40%
	Espaçador circular de plástico (cobrimento: 30 mm)	un.	77048	R\$ 0,07	R\$ 5.393,35	5,68%
	Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25mm / bitola: 18 BWG)	kg	109,29	R\$ 7,50	R\$ 819,66	0,86%
<b>PREÇO TOTAL FINAL</b>					<b>R\$ 94.982,77</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Autora

Tabela 11 – Orçamento de mão de obra para o sistema de alvenaria estrutural com blocos de concreto

<b>Orçamento da Mão de Obra da Estrutura da Edificação em Alvenaria Estrutural</b>					
<b>Insumo</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Preço total</b>	<b>% em relação ao preço total final</b>
Carpinteiro	h	658,33	R\$ 16,97	R\$ 11.171,90	17,09%
Ajudante de carpinteiro	h	164,58	R\$ 13,54	R\$ 2.228,46	3,41%
Armador	h	366,48	R\$ 16,97	R\$ 6.219,22	9,51%
Ajudante de armador	h	366,48	R\$ 13,51	R\$ 4.951,19	7,57%
Pedreiro	h	1170,60	R\$ 17,08	R\$ 19.993,92	30,58%
Servente	h	1701,54	R\$ 12,23	R\$ 20.809,82	31,83%
<b>PREÇO TOTAL FINAL</b>				<b>R\$ 65.374,52</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Autora

Tabela 12 – Orçamento de materiais para o sistema de concreto armado com blocos cerâmicos de vedação

(continua)

<b>Orçamento dos Materiais da Estrutura da Edificação em Concreto Armado</b>						
	<b>Item</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Preço total</b>	<b>% em relação ao preço total final</b>
<b>ALVENARIA</b>	Bloco cerâmico de vedação 14 x 19 x 39 cm	un.	15199	R\$ 1,42	R\$ 21.582,38	16,32%
	Argamassa industrializada multiuso para assentamento de alvenaria	m³	12,90	R\$ 945,25	R\$ 12.197,66	9,23%
<b>FORMAS</b>	Chapa compensada resinada (espessura: 12mm)	un.	324	R\$ 31,84	R\$ 10.294,03	7,79%
	Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3 mm)	kg	51,73	R\$ 7,68	R\$ 397,28	0,30%
	Pontalete 3" x 3" (altura: 75 mm / largura: 75 mm)	m	1551,86	R\$ 2,61	R\$ 4.050,37	3,06%
	Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	2133,81	R\$ 0,68	R\$ 1.450,99	1,10%

Tabela 13 – Orçamento de materiais para o sistema de concreto armado com blocos cerâmicos de vedação

(continuação)

<b>Orçamento dos Materiais da Estrutura da Edificação em Concreto Armado</b>						
	<b>Item</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Preço total</b>	<b>% em relação ao preço total final</b>
<b>FORMAS</b>	Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	m	134,49	R\$ 8,83	R\$ 1.187,59	0,90%
	Tábua 1" x 6" (espessura: 2 mm / largura: 150 mm)	m	129,32	R\$ 5,83	R\$ 753,95	0,57%
	Desmoldante de fôrmas para concreto	l	25,86	R\$ 5,64	R\$ 145,88	0,11%
	Prego 17x27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3 mm)	kg	129,32	R\$ 7,82	R\$ 1.011,30	0,76%
	Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	kg	64,66	R\$ 8,50	R\$ 549,62	0,42%
<b>CONCRETO</b>	Concreto usinado bombeável C25	m³	117,36	R\$ 261,56	R\$ 30.696,68	23,22%
	Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP (0,75 kW) • vida útil 20.000 h	h/prod.	23,47	R\$ 1,54	R\$ 36,15	0,03%
<b>ARMADUR A</b>	Aço CA-60, 5,0 mm	kg	3951,04	R\$ 3,44	R\$ 13.591,58	10,28%
	Aço CA-50, 6,3 mm	kg	819,02	R\$ 3,63	R\$ 2.973,04	2,25%
	Aço CA-50, 8,0 mm	kg	467,04	R\$ 4,08	R\$ 1.905,52	1,44%
	Aço CA-50, 10,0 mm	kg	2217,57	R\$ 3,47	R\$ 7.694,97	5,82%
	Aço CA-50, 12,5 mm	kg	561,54	R\$ 3,30	R\$ 1.853,08	1,40%

Tabela 13 – Orçamento de materiais para o sistema de concreto armado com blocos cerâmicos de vedação

(conclusão)

<b>Orçamento dos Materiais da Estrutura da Edificação em Concreto Armado</b>						
	<b>Item</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Preço total</b>	<b>% em relação ao preço total final</b>
<b>ARMADURA</b>	Espaçador circular de plástico (cobrimento: 30 mm)	un.	143441,44	R\$ 0,13	R\$ 18.647,39	14,10%
	Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	160,3242	R\$ 7,50	R\$ 1.202,43	0,91%
<b>PREÇO TOTAL FINAL</b>					<b>R\$ 132.221,87</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Autora

Tabela 13 – Orçamento de mão de obra para o sistema de concreto armado com blocos cerâmicos de vedação

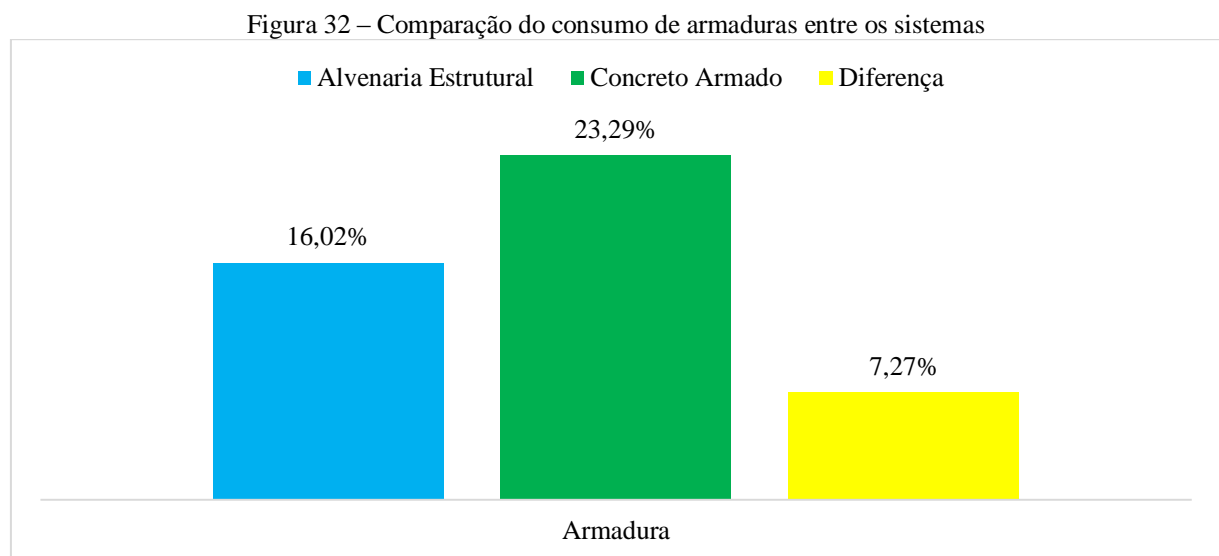
<b>Orçamento da Mão de Obra da Estrutura da Edificação em Concreto Armado</b>					
<b>Insumo</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unitário</b>	<b>Preço total</b>	<b>% em relação ao preço total final</b>
Carpinteiro	h	1055,27	R\$ 16,97	R\$ 17.907,89	24,42%
Ajudante de carpinteiro	h	263,82	R\$ 13,54	R\$ 3.572,08	4,87%
Armador	h	562,95	R\$ 16,97	R\$ 9.553,22	13,03%
Ajudante de armador	h	562,95	R\$ 13,51	R\$ 7.605,42	10,37%
Pedreiro	h	1018,39	R\$ 17,08	R\$ 17.394,07	23,72%
Servente	h	1414,80	R\$ 12,23	R\$ 17.303,05	23,59%
<b>PREÇO TOTAL FINAL</b>				<b>R\$ 73.335,74</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Autora

### 7.3 Comparação econômica entre os sistemas construtivos estudados

Para facilitar a compreensão da composição do custo final, serão apresentados gráficos comparativos de preços referentes aos materiais utilizados nos dois sistemas construtivos objetos desse estudo, bem como a mão de obra. As comparações foram feitas em porcentagens em relação ao custo total (insumos mais recursos humanos) de cada sistema.

A Figura 32 exibe uma comparação entre os custos em porcentagem do consumo dos elementos que compõem a armadura dos sistemas, e que aponta uma diferença de 7,27%. Isso aconteceu porque o sistema de alvenaria estrutural possui bem menos elementos em concreto armado do que o sistema construtivo em concreto armado.

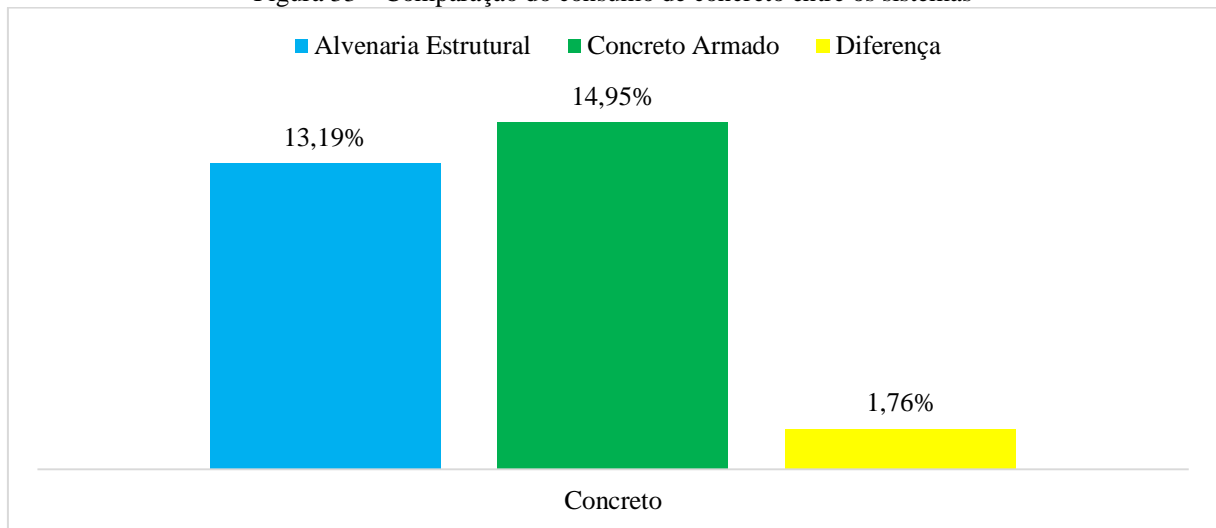


Fonte: Autora

Já a Figura 33 compara os custos em porcentagem do consumo de concreto de cada sistema e mostra uma diferença muito pequena entre eles. Isso se deu porque o preço unitário por metro cúbico de concreto para cada sistema é diferente, sendo de R\$270,37, para concreto C30 usado no sistema de alvenaria estrutural, e R\$261,56, para concreto C25 usado no sistema de concreto armado. Dessa forma, mesmo que o volume de concreto no sistema de alvenaria estrutural tenha sido de 78,13 m<sup>3</sup> e o de concreto armado tenha sido de 117,36 m<sup>3</sup>, o valor unitário de cada um fez com que seu preço total correspondesse a praticamente a mesma porcentagem de participação em relação ao preço total de cada sistema.



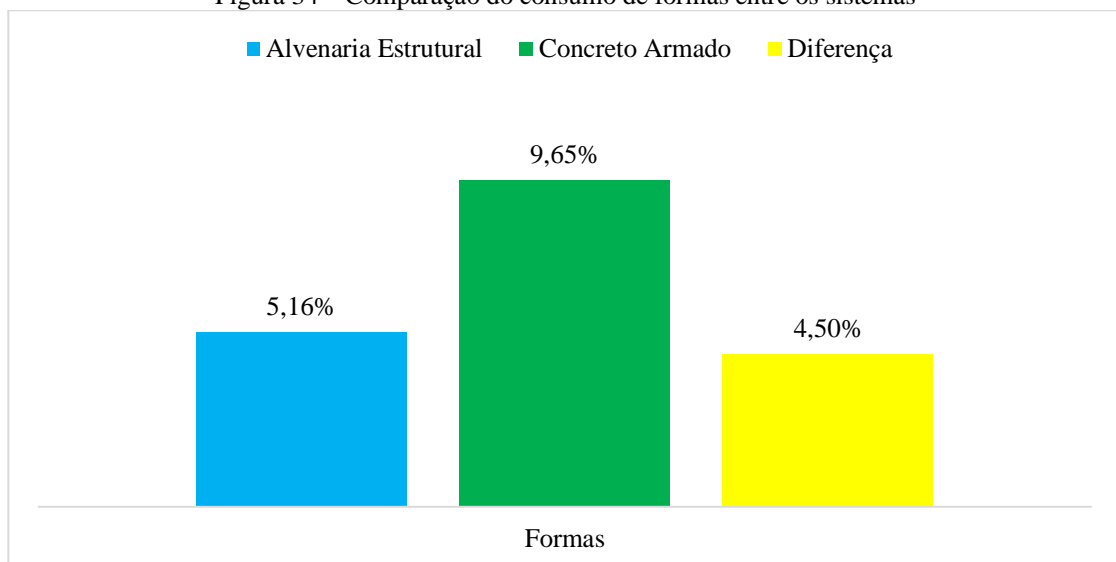
Figura 33 – Comparação do consumo de concreto entre os sistemas



Fonte: Autora

A Figura 34 apresenta o comparativo de custos em porcentagem do consumo dos elementos necessários para a execução de formas para os dois sistemas abordados. Percebe-se a economia desses elementos no sistema de alvenaria estrutural, já que pilares e vigas são praticamente inexistentes, o que, conseqüentemente, diminuiu o consumo de concreto e, então, de formas.

Figura 34 – Comparação do consumo de formas entre os sistemas

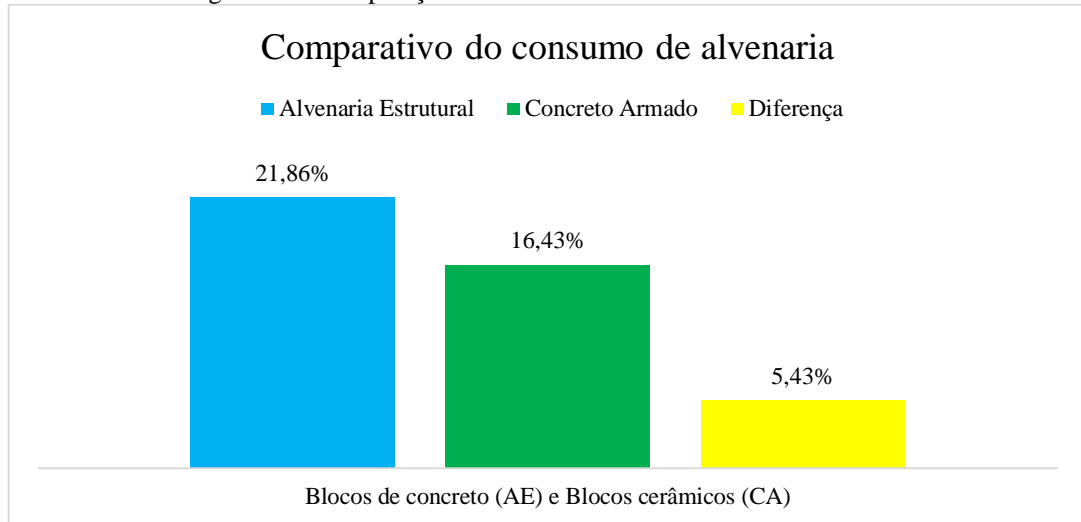


Fonte: Autora

A Figura 35 compara os custos em porcentagem da utilização de alvenaria em ambos os sistemas, considerando, para concreto armado, os blocos cerâmicos de vedação e a argamassa de assentamento, e, para alvenaria estrutural, os blocos de concreto e a argamassa

de assentamento. A diferença foi de 5,43%, visto que o sistema de alvenaria estrutural utiliza mais blocos por não possuir vigas e pilares em concreto armado.

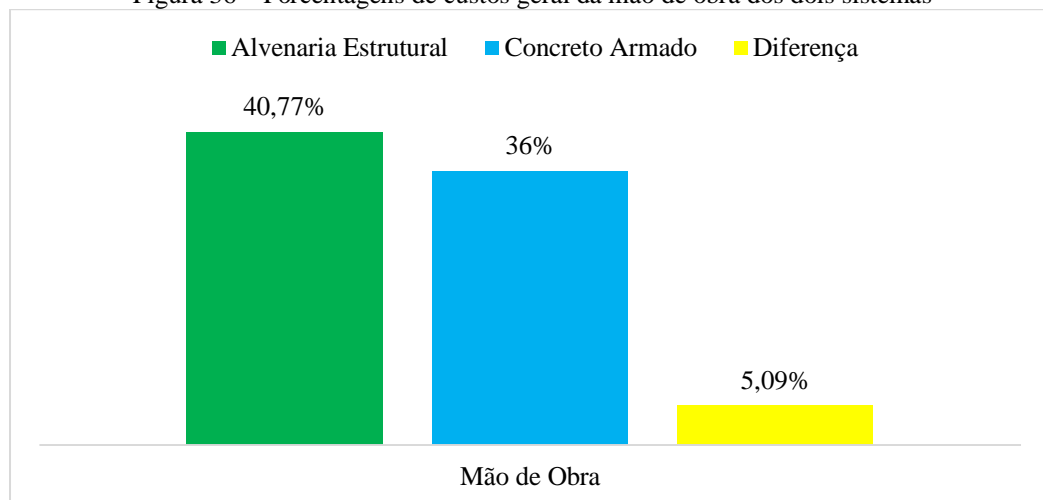
Figura 35 – Comparação do consumo de alvenaria entre os sistemas



Fonte: Autora

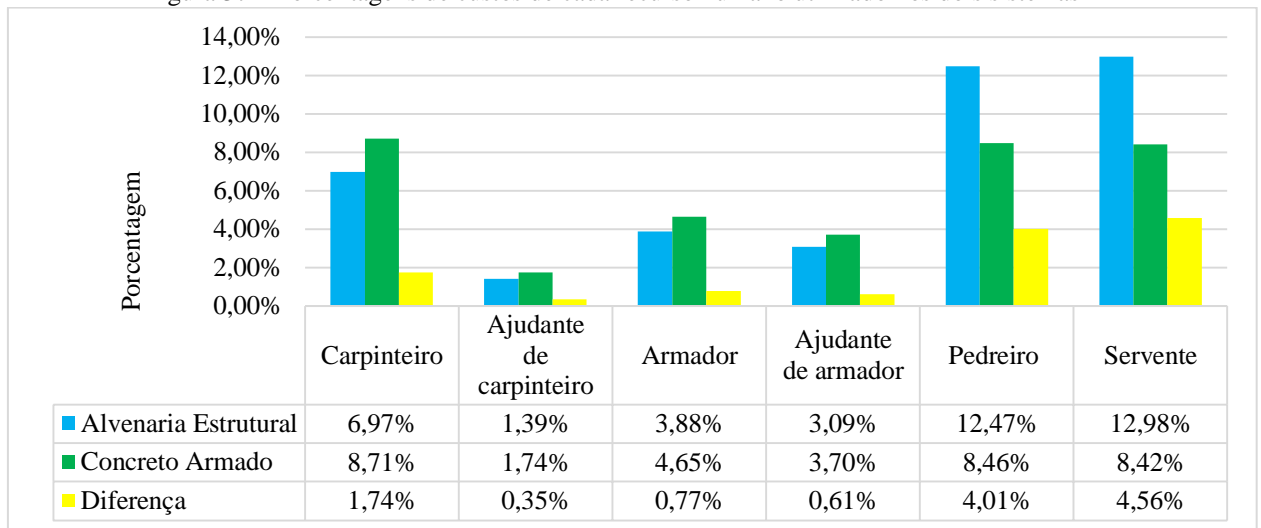
A Figura 36 apresenta as porcentagens de custos gerais da mão de obra utilizada nos dois sistemas e respectiva diferença entre elas, enquanto a Figura 37 faz o mesmo comparativo, mas para cada recurso humano utilizado. Nota-se que o uso de carpinteiros, ajudantes de carpinteiros, armadores e ajudantes de armadores é maior para o sistema de concreto armado do que para o de alvenaria estrutural. Isso aconteceu porque há maior presença de elementos estruturais em concreto armado no sistema convencional, o que depende muito dessa mão de obra. Já a utilização de pedreiros e serventes foi maior para a alvenaria estrutural, visto que a construção das paredes com blocos de concreto estrutural demanda mais tempo desses trabalhadores do que a vedação com blocos cerâmicos.

Figura 36 – Porcentagens de custos geral da mão de obra dos dois sistemas



Fonte: Autora

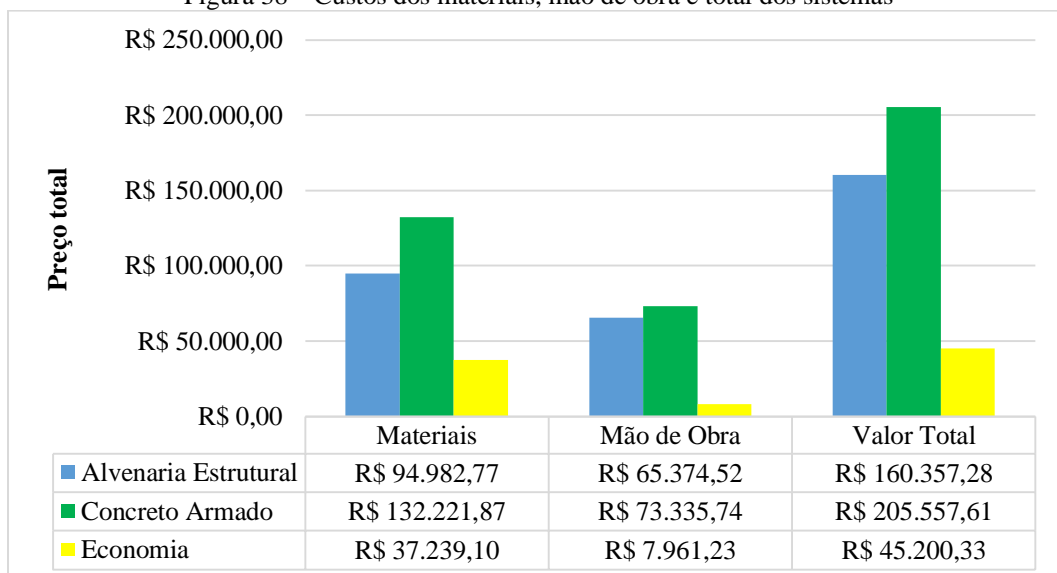
Figura 37 – Porcentagens de custos de cada recurso humano utilizado nos dois sistemas



Fonte: Autora

Por fim, a Figura 38 exibe os valores referentes aos custos dos materiais e mão de obra agrupados e comparados entre os sistemas construtivos estudados. Além disso, esse gráfico compara o preço total (materiais somados à mão de obra) entre eles, e consiste numa economia total de R\$45.200,33 do sistema de alvenaria estrutural em relação ao de concreto armado.

Figura 38 – Custos dos materiais, mão de obra e total dos sistemas



Fonte: Autora

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar os resultados obtidos, verificou-se que ao utilizar o sistema construtivo em alvenaria estrutural com blocos de concreto, haverá uma economia significativa com a estrutura e vedação do edifício modelo de 21,99% (correspondente a R\$45.200,33) quando este é comparado ao sistema convencional de concreto armado com blocos cerâmicos de fechamento. Assim, consagra-se a alvenaria estrutural como uma alternativa construtiva viável para a edificação estudada.

Os insumos que mais contribuíram para essa economia foram as armaduras e as formas. Isso se deu porque na alvenaria estrutural os blocos de concreto exercem função estrutural, dispensando o uso de alguns elementos estruturais em concreto armado, tais como vigas e pilares. Isso faz com que haja redução no uso de aço e formas e, conseqüentemente, de armadores e carpinteiros.

É importante ressaltar que este trabalho consiste num estudo de caso e não indica resultados de uso geral em qualquer outro tipo de edificação, já que cada projeto possui suas particularidades. Porém, essa análise fornece informações e dados que ajudam em estudos de outras obras no que condiz à escolha do sistema construtivo mais adequado, especialmente em edifícios similares ao estudado.

Assim, salienta-se que, ao decidir o melhor sistema construtivo de determinada edificação, não se deve estar restrito a apenas fatores econômicos, mas também ao que esses sistemas implicam em cada tipo de obra. O uso da alvenaria estrutural, por exemplo, mesmo com as vantagens econômicas frente aos outros sistemas, é limitado quanto ao desenvolvimento do projeto arquitetônico. Além disso, é necessário analisar outros fatores, como prazo de execução, disponibilidade de materiais e mão de obra especializada e padrões construtivos da obra.

## REFERÊNCIAS

AECWEB/E-CONSTRUMARKET. Blocos cerâmicos atendem a alvenaria estrutural e de vedação. Cerâmica Gresca, Jundiaí. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/emp/cont/m/blocos-ceramicos-atendem-a-alvenaria-estrutural-e-de-vedacao\\_3092\\_11644](https://www.aecweb.com.br/emp/cont/m/blocos-ceramicos-atendem-a-alvenaria-estrutural-e-de-vedacao_3092_11644)>. Acesso em: 07 nov. 2017.

ALBUQUERQUE, A. T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. 1999. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999. Disponível em: <[http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1999ME\\_AugustoTeixeiradeAlbuquerque.pdf](http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1999ME_AugustoTeixeiradeAlbuquerque.pdf)>. Acesso em: 16 nov. 2017.

ANCIENT HISTORY ENCYCLOPEDIA. The pyramids of Giza. [S.l.], 2016, il. Disponível em: <<https://www.ancient.eu/image/5687/>>. Acesso em: 16 out. 2017.

\_\_\_\_\_. The lighthouse at Alexandria: the Seventh Wonder of the Ancient World. [S.l.], 2012, il. Disponível em: <<https://www.ancient.eu/article/130/the-lighthouse-at-alexandria-the-seventh-wonder-of/>>. Acesso em: 16 out. 2017.

ARAÚJO, P. Concreto Armado II: Pilares. Aracaju: UNIT, 2009. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgO5UAI/pilares#>>. Acesso em: 06 ago. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto — procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

\_\_\_\_\_. **NBR 6136**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria — requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 7480**: aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado — especificação. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 14931**: execução de estruturas de concreto — procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15812-1**: alvenaria estrutural — blocos cerâmicos: parte 1: projetos. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15961-1: alvenaria estrutural — blocos de concreto: parte 1: projeto.** Rio de Janeiro, 2011.

BASTOS, P. S. S. **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado.**

Bauru: Unesp, 2006. Disponível em:

<[http://www.deecc.ufc.br/Download/TB798\\_Estruturas%20de%20Concreto%20I/HIST.pdf](http://www.deecc.ufc.br/Download/TB798_Estruturas%20de%20Concreto%20I/HIST.pdf)>.

Acesso em: 23 set. 2017.

BAUTH. Sistema construtivo: alvenaria estrutural de blocos de concreto. Piracaia. Disponível em: <[http://www.bauth.com.br/alv\\_estrutural.htm](http://www.bauth.com.br/alv_estrutural.htm)>. Acesso em: 15 set. 2017.

BECKENKAMP, C. M. **Dimensionamento estrutural e análise comparativa de custos de um edifício de alvenaria estrutural versus concreto armado.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2013. Disponível em:

<<https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/1138/1/CI%C3%A1udia%20Beckenkamp.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2017.

CAMACHO, J. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural.** Ilha Solteira: Unesp, 2006.

Disponível em: <<http://poteng.com.br/media/a2e1fe6a38486307ffff813ffffd524.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2017.

CASALIT. Blocos. Duque de Caxias, il. Disponível em:

<[http://www.casalit.com.br/prod\\_blocos.htm](http://www.casalit.com.br/prod_blocos.htm)>. Acesso em: 07 nov. 2017.

CLÍMACO, J. C. T. S. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação.** 2. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília: Finatec, 2008. 410 p., 22 cm. ISBN 978-85-230-1223-6 (Universidade de Brasília). ISBN 978-85-85862-37-4 (Finatec)

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. Alvenaria estrutural: materiais. [S.l.]: Associação Brasileira de Cimento Portland, il. Disponível em:

<<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/1/materiais/qualidade/9/materiais.html>>. Acesso em: 07 nov. 2017.

CYPECAD. **Cype: software para engenharia e construção.** [S.l.]: Cype Ingenieros S.A, 2017. DISCO RÍGIDO.

DALDEGAN, E. Concreto armado: definição e principais componentes. Engenharia Concreta, [S.l.]. Disponível em: <<http://engenhariaconcreta.com/concreto-armado-definicao-e-principais-componentes/>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

DELLATORRE, L. A. **Análise comparativa de custo entre edifício de alvenaria estrutural e de concreto armado convencional**. 2014. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em:

<[http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2\\_2014/TCC\\_LAZARO%20AUGUSTO%20DELLATORRE.pdf](http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2014/TCC_LAZARO%20AUGUSTO%20DELLATORRE.pdf)>. Acesso em: 07 nov. 2017.

FREITAS JÚNIOR, J. A. **Notas de aula da disciplina de Construção Civil II: alvenaria estrutural**. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, [Curitiba], 2013, il.

Disponível em:

<[http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/7/70/TC025\\_Alvenaria\\_estrutural\\_A\\_x.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/7/70/TC025_Alvenaria_estrutural_A_x.pdf)>. Acesso em: 12 nov. 2017.

FONTANA, S. M. P. A origem do concreto armado. O Século XX, Pelotas, 23 dez. 2014.

Disponível em: <<http://oseculoxx.blogspot.com.br/2014/12/a-origem-do-concreto-armado.html>>. Acesso em: 23 set. 2017.

FÓRUM DA CONSTRUÇÃO. Tipos de sistemas construtivos para casas. Disponível em:

<<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=7&Cod=1945>>. Acesso em: 15 set. 2017.

\_\_\_\_\_. Diferenças entre alvenaria estrutural e convencional. Tipos de sistemas construtivos para casas. Disponível em:

<<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=7&Cod=1642>>. Acesso em: 15 set. 2017.

JUNGES, E.; NUNES, C. C. **Comparação de custo entre estrutura convencional em concreto armado e alvenaria estrutural de blocos de concreto para edifício residencial em Cuiabá-MT**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 12., 2008, Fortaleza.

Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2008/artigos/A1545.pdf>>.

Acesso em: 20 set. 2017.

LOVIZOTTO FILHO, M. A.; SILVA, G. A. P. **Análise comparativa entre softwares de cálculo estrutural: estudo de caso**. 2015. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

Disponível em: <[http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/0/05/TFC\\_Lia\\_2015.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/0/05/TFC_Lia_2015.pdf)>. Acesso em: 28 set. 2017.

MBUIATE. **744set16\_01\_EmissãoOriginal.dwg**. Uberlândia: MBuiate Engenharia de Estruturas Ltda., 2017. DISCO RÍGIDO.

\_\_\_\_\_. **Arq.dwg**. Uberlândia: MBuiate Engenharia de Estruturas Ltda., 2017. DISCO RÍGIDO.

NESSE, F. J. M.; TAUIL, C. A. **Alvenaria Estrutural**. 1. ed. São Paulo: PINI, 2010. 188 p. Inclui índice. ISBN 978-85-7266-226-0

OLIVIER, B. G. **Estudo comparativo de custos entre um edifício executado em alvenaria estrutural e em concreto armado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016. Disponível em: <[https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/171786/TCC\\_BIANCA\\_G\\_OLIVIER.pdf?sequence=1&isAllowed=ydf](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/171786/TCC_BIANCA_G_OLIVIER.pdf?sequence=1&isAllowed=ydf)>. Acesso em 21 set. 2017.

PARIZOTTO FILHO, S.; ROMAN, H. **Manual de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos**. [S.l.], 2017.

PASTRO, R. Z. **Alvenaria estrutural sistema construtivo**. 2007. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade São Francisco, Itatiba, 2007. Disponível em: <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1060.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2017.

PINI. *Softwares auxiliam o cálculo estrutural*. São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/softwares-auxiliam-o-calculo-estrutural-80278-1.aspx>>. Acesso em: 31 jul. 2017

SELECTA BLOCOS. Detalhes construtivos: argamassa, graute, alvenaria e prisma. Itu. Disponível em: <[http://www.selectablocos.com.br/alvenaria\\_estrutural\\_detalhes\\_construtivos\\_01.html](http://www.selectablocos.com.br/alvenaria_estrutural_detalhes_construtivos_01.html)>. Acesso em: 07 nov. 2017.

STAUB, D. K. *The Monadnock Building*. Chicago, 2005, il. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Monadnock.jpg>>. Acesso em: 16 out. 2017.

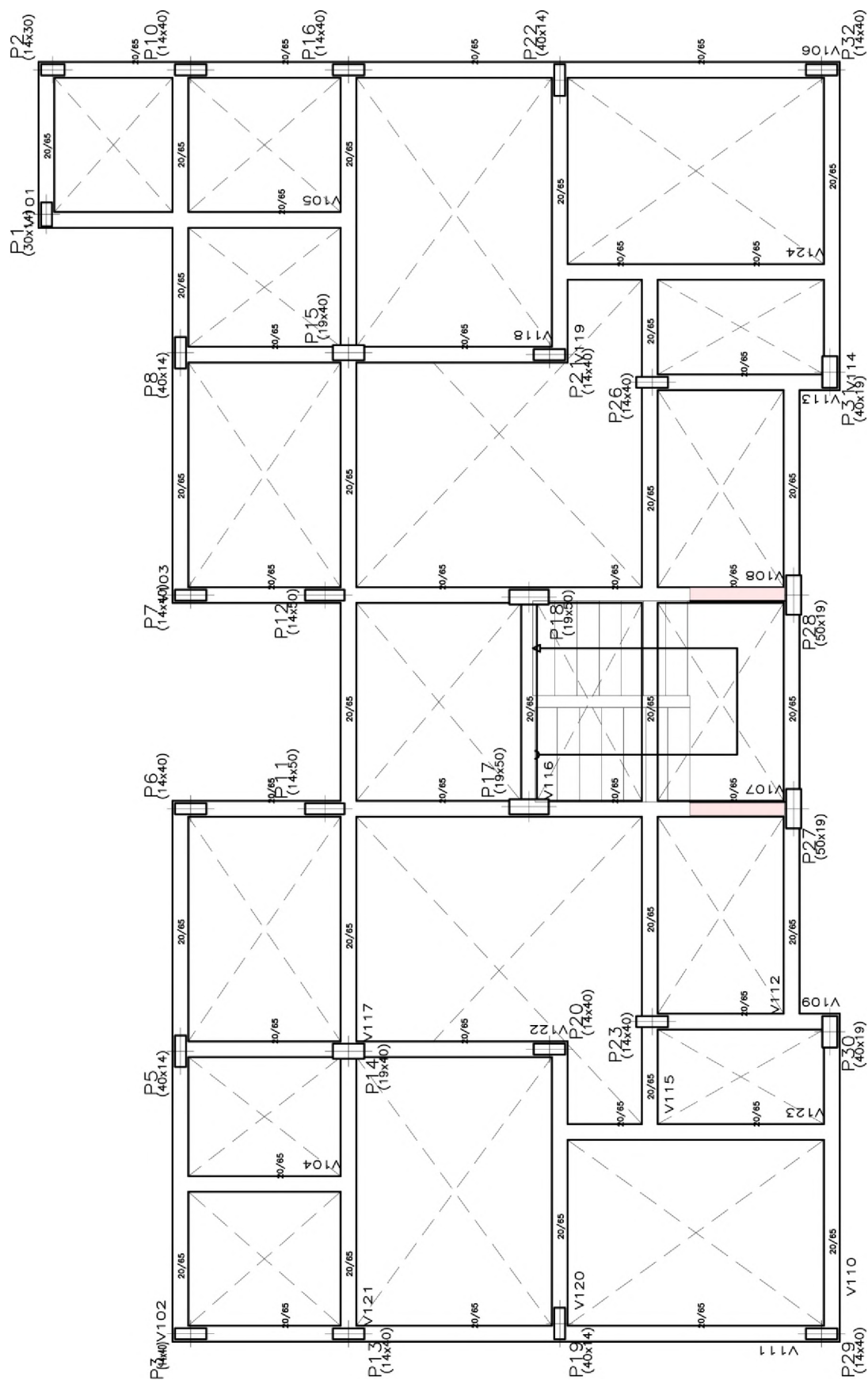
SUA OBRA. Confira qual traço usar na argamassa para assentamento de blocos. [S.l.], il. Disponível em: <<https://suaobra.com.br/dicas/levantamento-obra/confira-qual-traco-usar-na-argamassa-para-assentamento-de-blocos>>. Acesso em: 07 nov. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). Bloco sílico-calcário. [Porto Alegre], 2011. Disponível em: <[https://chasqueweb.ufrgs.br/~jeanmarie/objeto-alvenaria/img/bloc\\_sc.JPG](https://chasqueweb.ufrgs.br/~jeanmarie/objeto-alvenaria/img/bloc_sc.JPG)>. Acesso em: 07 nov. 2017.

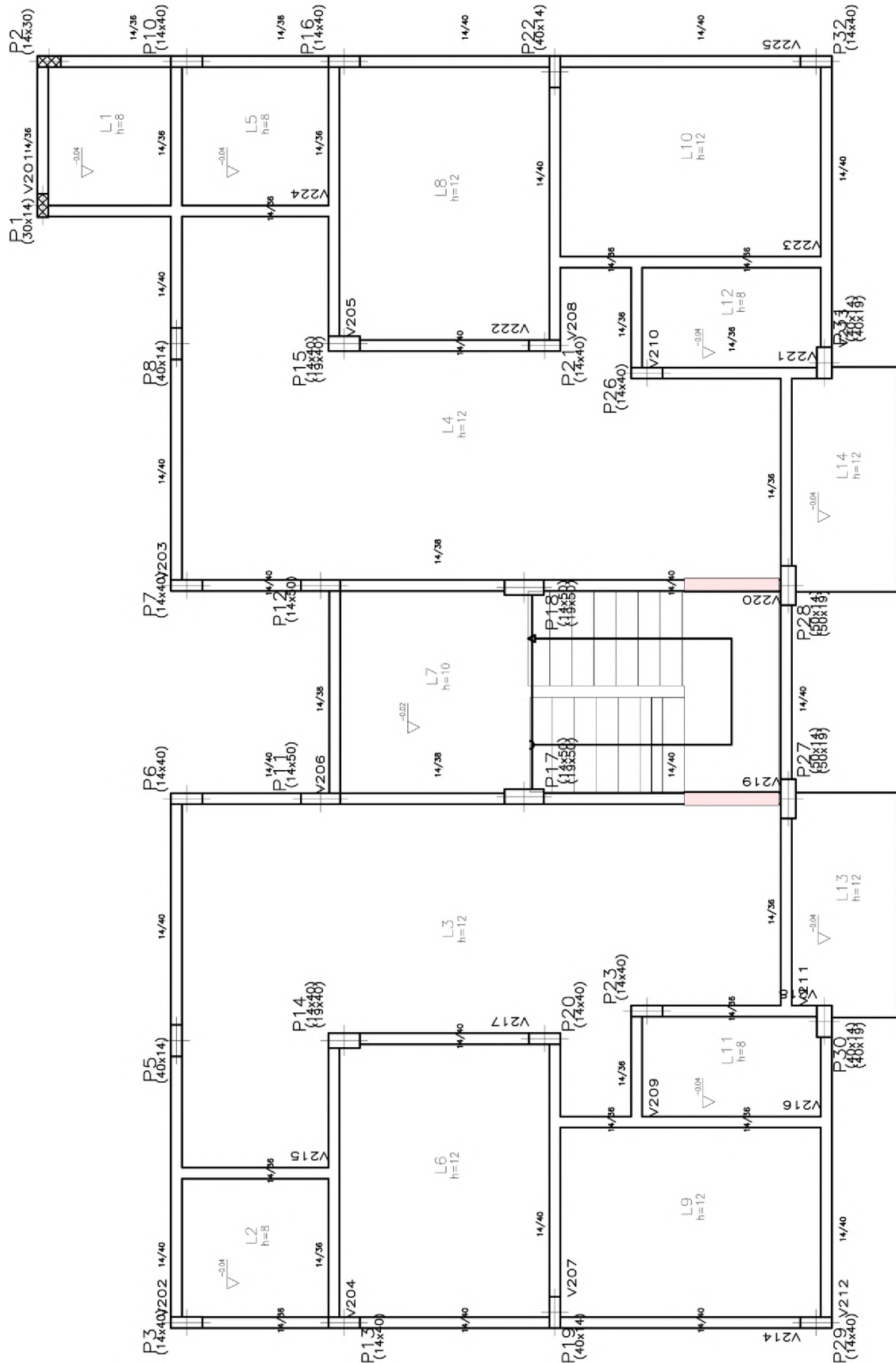


UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). Alvenaria estrutural: função da armadura. [Porto Alegre], il. Disponível em: <[https://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/alvenaria-estrutural/funcao\\_armadura.php](https://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/alvenaria-estrutural/funcao_armadura.php)>. Acesso em: 07 nov. 2017.

# ANEXO A – Planta de formas do pavimento térreo da edificação em concreto armado

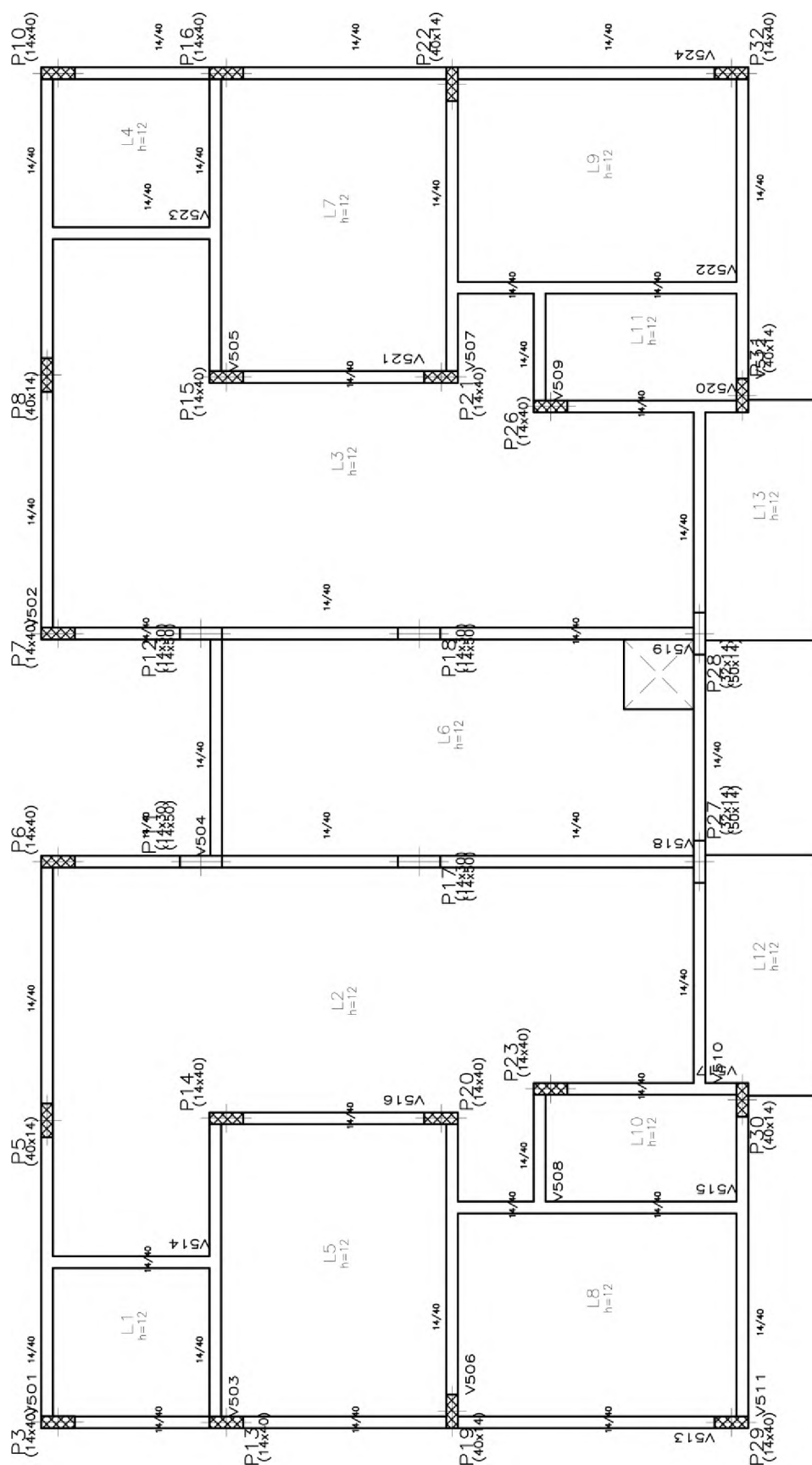


# ANEXO B – Planta de formas do 1º Pavimento Tipo da edificação em concreto armado





# ANEXO D – Planta de formas do forro/barrilete da edificação em concreto armado



**ANEXO E – Planta de formas do reservatório elevado da edificação em concreto armado**

